

19.621/ITS/4/2004



**TUGAS AKHIR
(KL 1702)**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH
REFLEKTOR TERHADAP TEKANAN YANG
KELUAR DARI ORIFICE SISTEM KONVERSI
ENERGI GELOMBANG LAUT JENIS OWC**



RSKe
551.4702
Suk
5-1
2003

Disusun Oleh :

HERU SUKRISNO
NRP : 4397.100.027

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2003**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	8-4-2003
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	216893

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH REFLEKTOR
TERHADAP TEKANAN YANG KELUAR DARI ORIFICE
SISTEM KONVERSI ENERGI GELOMBANG LAUT JENIS
OWC**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

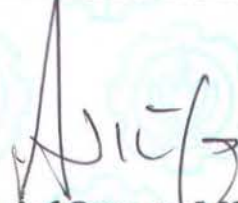
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Surabaya, Februari 2003

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Ir. Arief Suroso, MSc

NIP. 130 937 969



Dosen Pembimbing II



DR. Ir. Eko B. Djatmiko, MSc

NIP. 131 407 592

ABSTRAK

Penelitian ini menyajikan tentang eksperimen pengaruh reflector terhadap tekanan yang keluar dari orifice system konversi energi gelombang laut jenis Oscillating Water Column (OWC). Dengan menggunakan skala 1 : 10, dengan gelombang yang dibangkitkan dalam eksperimen ini berupa gelombang reguler dengan variasi tinggi gelombang antara 0.5 m sampai dengan 1.5 m riil diperoleh tinggi gelombang model 0.05 m sampai dengan 0.15 m dan variasi periode gelombang antara 4 detik hingga 8 detik pada kondisi riil diperoleh 1.26 sampai dengan 2.54 pada model. Bentuk OWC adalah berupa tabung dengan lubang kecil (orifice) pada bagian atasnya. Diameter OWC adalah 0.5 m dan diameter orifice 0.5 cm. Pada bagian bawah dari orifice terdapat bukaan setinggi 20 cm berbentuk sepanjang setengah lingkaran dari OWC dan reflektor yang dipasang dengan sudut 15° , 30° , 45° dan 60° . Pengukuran tekanan dilakukan dengan pipa berbentuk U yang telah dikalibrasi dengan manometer jarum sehingga diperoleh hasil percobaan berupa tekanan dengan hasil kalibrasi 2 mBar untuk tiap centimeter perubahan tinggi permukaan air di dalam selang U. Berdasarkan data yang diperoleh tersebut dilakukan perbandingan hubungan parameter gelombang yaitu tinggi gelombang dan periode gelombang, kemudian posisi sudut reflektor serta sarat dari sistem OWC di dalam air terhadap tekanan. Tekanan yang dihasilkan oleh sistem semakin besar seiring dengan semakin besarnya tinggi gelombang yang dimasukkan. Untuk periode gelombang, terjadi penurunan tekanan pada periode 1.9 detik. Reflektor yang dipasang pada bagian bawah OWC memberikan pengaruh yang cukup berarti pada tekanan yang dihasilkan oleh OWC. Tekanan terbesar terjadi pada posisi sudut reflektor 45° . Posisi OWC terhadap sarat juga memberikan pengaruh dimana semakin besar sarat dari OWC maka akan semakin kecil tekanan yang dihasilkan. Dari hasil percobaan diperoleh tekanan maximum sistem adalah 7.6 mBar pada kombinasi tinggi gelombang 0.15m, periode gelombang 2.22 detik, posisi sudut reflektor 45° dan sarat 50 cm.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan karunia sehingga berhasil menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan judul *Studi Eksperimen Pengaruh Reflektor Terhadap Tekanan Yang Keluar dari Orifice Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Jenis OWC*.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan strata 1 (S - 1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan - ITS Surabaya. Dalam tugas akhir ini dilakukan percobaan untuk memperoleh suatu sistem konversi energi gelombang laut Jenis Oscillating Water Collumn dengan memodifikasi reflektor sehingga diperoleh tekanan yang maksimum yang dihasilkan melalui orifice.

Penulis sadar bahwa laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan. Kritik dan saran penulis harapkan demi sempurnanya laporan ini. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan khalayak ramai.

Surabaya, Februari 2003

Heru Sukrisno

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan tugas akhir ini dan selama menempuh masa perkuliahan di Teknik Kelautan FTK – ITS Surabaya, begitu banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan dan motivasi. Oleh sebab itu penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan kepada pihak-pihak :

1. Kedua orang tua, Bapak Kasrip Sunari (alm) dan Ibu Hj. Istamsijah yang telah memberikan kasih sayang dan perhatian sejak penulis lahir ke dunia ini.
2. Kakak-kakakku, Gatot Sukarsono, SH, Sri Muljono, SE beserta keluarga, Sunarjati beserta keluarga, Edy Susanto, SE.
3. Bapak Ir. Achmad Anshory, DEA, beserta keluarga atas bimbingan sejak kecil hingga berhasil menyelesaikan studi di ITS.
4. Bapak DR. Ir. Paulus Indiyono, M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, ITS-Surabaya.
5. Bapak DR. Ir. Wahyudi, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan, ITS-Surabaya dan Dosen Wali.
6. Bapak Ir. Arief Suroso, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I atas kesempatan, kepercayaan, waktu dan bimbingannya.
7. Bapak DR. Ir. H. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, selaku dosen Pembimbing II atas waktu dan bimbingannya
8. Wiwin Indrawati, SE atas saran dan dorongan.
9. Lydia Kusumawardhani atas bantuan literatur.

10. Teman-teman Teknik Kelautan '97 yang telah memberikan saran, bantuan dan kebersamaan. Faroq, Geyonk, atas dorongan dan bantuan. Bum-bum, Ratih (Bonnie).
11. Teman-teman OE'98 atas kerjasamanya.
12. Tim Konversi Energi Gelombang : Imawan Z. Abrori & Agape Sinaga.
13. Mas Arief, Mas Aries, Ca' No dan semua yang ada di lab Kelautan.
14. Keluarga besar Menara 10 Music Course atas kesempatan dan pengertian. Mas Agung Aksama beserta keluarga atas pinjaman scanner, Izzat Abdi, Aryo Sandiyudo dan murid-murid kursus gitar.
15. Helmy Budiman, Stephanus Adi Surya, S.T, Catur Sudarmanto atas segala bantuannya.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	xi

BAB I PENDAHULUAN	I - 1
1.1. Latar Belakang	I - 1
1.2. Permasalahan	I - 2
1.3. Tujuan	I - 3
1.4. Manfaat	I - 3
1.5. Batasan Masalah	I - 4
1.6. Sistematika Tugas Akhir	I - 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	II - 1
2.1. Tinjauan Pustaka	II - 1
2.2. Landasan Teori.....	II - 3

2.2.1. Karakteristik Gelombang	II - 3
2.2.2. Pendangkalan (Wave Shoaling)	II - 7
2.2.3. Energi Gelombang	II - 9
2.2.4. Pemodelan Fisik	II - 10
2.2.5. Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Jenis Oscillating Water Column (OWC).....	II - 12
2.2.6. Manometer	II - 14
2.2.7. Pembangkitan Gelombang Di Laboratorium.....	II - 16
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 III - 1
 BAB IV PEMODELAN DAN FASILITAS KOLAM GELOMBANG	 IV - 1
4.1. Fasilitas Kolam Gelombang	IV - 1
4.2. Pemodelan	IV - 6
4.2.1. Skala Model	IV - 6
4.2.2. Data Gelombang	IV - 8
4.2.3. Model Sistem Konversi Energi Gelombang Laut OWC	IV - 8
 BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN	 V - 1
5.1. Analisa	V - 1
5.1.1. Data Gelombang	V - 1
5.1.2. Hasil Kalibrasi	V - 1
5.1.2. Hasil Pencatatan Data	V - 2
5.2. Pembahasan	V - 8

5.2.1. Pengaruh Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan	V - 8
5.2.2. Pengaruh Periode Gelombang Terhadap tekanan	V - 12
5.2.3. Pengaruh Sarat Terhadap Tekanan	V - 14
5.2.3. Pengaruh Reflektor Terhadap Tekanan	V - 16

BAB VI PENUTUP	VI - 1
6.1. Kesimpulan	VI - 1
6.2. Saran	VI - 2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

BAB II

Gambar 2.1. Sistem Konversi Energi Bouchaux-Pracieque. Oleh Palme (1920)	II – 1
Gambar 2.2. Profil Gelombang Beseta Propertinya (Naess, 1985),.....	II – 4
Gambar 2.3. Gerakan Partikel Air Di Perairan Dalam dan Perairan Dangkal	II – 8
Gambar 2.4. Konsep Mudel Uji Oscillating Water Collumn (OWC),..	II – 13
Gambar 2.4. Tabung Manometer U	II – 14
Gambar 2.5 Teori Pembangkitan Gelombang Di Laut Dangkal.....	II – 16
Gambar 2.7. Sketsa Pembangkitan Gelombang Tipe Piston	II -18

BAB III

Gambar 3.1. Skema Oscillating Water Collumn	III - 3
Gambar 3.2. Grafik Hasil Kalibrasi Wave Probe	III – 5
Gambar 3.3. Diagram Alir Metodologi Penelitian	III – 7

BAB IV

Gambar 4.1. Wave Flume	IV – 2
Gambar 4.2. Ruang Kontrol (Komputasi)	IV – 3

Gambar 4.3. Wave Maker Kontrol Program	IV – 4
Gambar 4.4. Skema Struktur Oscillating Water Collumn	IV – 9
Gambar 4.5. Tampak depan model OWC.....	IV – 9
Gambar 4.6. Tampak belakang model OWC.....	IV - 8
Gambar 4.7. Model reflektor sudut 60° sebelum dipasang pada OWC	IV – 9
Gambar 4.8. Model reflektor sudut 45° sebelum dipasang pada OWC	IV - 9
Gambar 4.9. Model reflektor sudut 15° dan 30° sebelum dipasang pada OWC	IV – 10
Gambar 4.10. Tampak bawah OWC dengan reflektor.....	IV – 10
Gambar 4.11. Skema Sudut Reflektor.....	IV – 10
Gambar 4.12. Instalasi Pengikatan model pada flume tank.....	IV – 10
Gambar 4.13. Posisi Manometer pada instalasi	IV – 11
Gambar 4.14. Instalasi eksperimen OWC	IV – 12

BAB V

Gambar 5.1. Grafik hubungan tinggi gelombang terhadap tekanan.....	V - 8.
Gambar 5.2. Grafik Hubungan tinggi gelombang terhadap tekanan pada sudut reflektor 30° dan sarat 50 cm	V - 9
Gambar 5.3. Grafik hubungan tinggi gelombang terhadap tekanan pada sudut reflektor 45° dan sarat 50 cm	V - 10
Gambar 5.4. Grafik hubungan tinggi gelombang terhadap tekanan pada sudut reflektor 60° dan sarat 50 cm	V - 11

Gambar 5.5. Grafik hubungan tekanan terhadap periode pada sarat 70 cm dan sudut reflektor 15°	V - 12
Gambar 5.6. Grafik hubungan periode terhadap tekanan pada sarat 50 cm dan sudut reflektor 30°	V - 12
Gambar 5.7. Grafik hubungan periode terhadap tekanan pada sarat 50 cm dan sudut reflektor 45°	V - 13
Gambar 5.8. Grafik Hubungan Periode terhadap tekanan pada posisi sudut reflektor 60° dan sarat 50 cm.....	V - 13
Gambar 5.9. Grafik Hubungan tinggi Gelombang terhadap tekanan akibat sarat pada sudut reflektor 15° dan periode 1.26 detik.....	V - 14
Gambar 5.10. Grafik Hubungan tinggi Gelombang terhadap tekanan akibat sarat pada sudut reflektor 30° dan periode 2.22 detik.....	V - 14
Gambar 5.11. Grafik Hubungan tinggi Gelombang terhadap tekanan akibat sarat pada sudut reflektor 45° dan periode 2.54 detik.....	V - 15
Gambar 5.12. Grafik Hubungan tinggi Gelombang terhadap tekanan akibat sarat pada sudut reflektor 60° dan periode 2.22 detik	V - 15
Gambar 5.13. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 1.26 detik.....	V - 16
Gambar 5.14. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 1.58 detik.....	V - 16
Gambar 5.15. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 1.9 detik.....	V - 17
Gambar 5.16. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 2.22 detik.....	V - 17

Gambar 5.18. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 2.54 detik	V - 18
Gambar 5.19.Orbit gelombang pada dasar miring	V - 19

DAFTAR TABEL

BAB IV

Tabel 4. Data Gelombang Input	IV – 7
-------------------------------------	--------

BAB V

Tabel 5.1. Data Gelombang Input.....	V – 1
Tabel 5.2. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 15° dan Sarat 70 cm	V – 2
Tabel 5.3. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 15° dan Sarat 60 cm	V – 2
Tabel 5.4. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 15° dan Sarat 50 cm	V – 3
Tabel 5.5. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 30° dan Sarat 70 cm	V – 3
Tabel 5.6. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 30° dan Sarat 60 cm	V – 4
Tabel 5.7. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 30° dan Sarat 50 cm	V – 4
Tabel 5.8. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 45° dan Sarat 70 cm	V – 5
Tabel 5.9. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 45° dan Sarat 60 cm	V – 5

Tabel 5.10. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 45° dan

Sarat 50 cm V – 6

Tabel 5.11. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 60° dan

Sarat 70 cm V – 6

Tabel 5.12. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 60° dan

Sarat 60 cm V – 7

Tabel 5.13. Data Hasil Percobaan Pada Sudut Reflektor 60° dan

Sarat 50 cm V – 7

DAFTAR NOTASI

λ	panjang gelombang
z_1	Displacement Vertikal
v_1 & v_2	Velocity
A	Amplitudo
A	Luas
a_x	Percepatan horisontal
a_y	percepatan vertikal
C	λ/T celerity (cepat rambat gelombang)
D	Diameter Orifice
ϕ	Diameter OWC
F	frekwensi gelombang
g	Percepatan Gravitasi
H	Tinggi Gelombang
ρ	Massa Jenis air laut (1025 kg/m ³)
P	Energi (Kilowatt/m)
T	periode gelombang
t	tinggi OWC
x	jarak kaki pengikat dengan OWC
l	tinggi bukaan pada OWC

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan akan energi semakin lama semakin meningkat. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dunia dan meningkatnya kegiatan manusia mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga untuk kebutuhan industri membutuhkan energi yang cukup besar, misalnya adalah minyak bumi, batubara, gas alam, listrik dan sebagainya. Minyak bumi, gas alam dan batubara yang selanjutnya kita sebut sebagai sumber daya alam (SDA) fosil tersedia di alam dengan sangat terbatas dan akan segera habis pada waktu yang singkat jika tidak di gunakan secara hemat. Dengan terbatasnya cadangan sumber energi yang tidak dapat diperbarui di dunia ini, telah banyak penelitian di berbagai negara untuk menemukan sumber energi baru. Berbagai penelitian telah memberikan hasil berupa sumber energi baru, antara lain adalah tenaga angin, tenaga surya yang mana penelitian dilakukan untuk memperoleh pembangkit listrik dengan menggunakan sel surya sehingga pemakaian BBM dapat diminimalkan, kemudian adanya pembangkit listrik tenaga air, PLTU dan PLTN. Dan berikutnya adalah penelitian untuk memperoleh sumber energi dari potensi laut di dunia. Telah banyak penelitian di berbagai belahan dunia yang berusdaha untuk mendapatkan sumber energi alternatif yang berasal dari laut.

Penelitian tentang pemanfaatan energi samudera yang telah dilakukan antara lain yang memanfaatkan perbedaan suhu laut yang disebut *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)*, energi pasang surut, dan yang terakhir adalah yang memanfaatkan energi gelombang.

Indonesia sebagai negara maritim dimana sebagian besarnya wilayahnya adalah laut. Dengan panjang garis pantai sepanjang kurang lebih 80.000 km dan luas area laut 52 juta Km^2 yang mana adalah terpanjang kedua setelah Canada. Dengan daerah yang cukup besar secara kualitatif menyimpan energi dapat diperbarui yang cukup besar. Tetapi hingga saat ini, secara kuantitatif, energi terbarukan yang dimiliki Indonesia belum dikelola secara maksimal dan ekonomis.

Energi gelombang : gerakan gelombang diubah menjadi gerakan kolom air yang bergerak naik turun di dalam ruang udara sehingga terjadi gerakan udara dalam ruang tersebut. Gerakan udara ini disalurkan melalui suatu turbin untuk membangkitkan listrik (Suroso, 2001).

Permasalahan yang timbul pada pemanfaatan energi gelombang laut adalah tentang efisiensi yang rendah dari model yang pernah diteliti. Sehingga dalam penelitian ini akan diperoleh suatu sistem konversi energi gelombang laut dengan efisiensi yang maksimum.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang timbul adalah sebagai berikut :

1. Berapakah besarnya tekanan yang keluar dari orifice akibat perubahan tinggi gelombang, periode gelombang, sarat dan sudut reflektor.

2. Bagaimanakah pengaruh tinggi gelombang input terhadap tekanan yang keluar dari orifice berdasarkan percobaan yang dilakukan.
3. Bagaimana pengaruh periode gelombang input terhadap tekanan yang keluar dari orifice berdasarkan percobaan yang telah dilakukan.
4. Bagaimana pengaruh sarat terhadap tekanan yang keluar dari orifice berdasarkan percobaan yang dilakukan.
5. Bagaimana pengaruh posisi sudut reflektor terhadap tekanan yang keluar dari orifice berdasarkan percobaan yang dilakukan.

1.3. TUJUAN

Studi ini bertujuan untuk :

1. Mencari besarnya tekanan yang keluar dari orifice akibat perubahan tinggi gelombang, periode gelombang , sarat dan sudut reflektor.
2. Mengetahui pengaruh tinggi gelombang input terhadap tekanan yang keluar dari orifice berdasarkan percobaan yang dilakukan.
3. Mengetahui pengaruh periode gelombang input terhadap tekanan yang keluar dari orifice berdasarkan percobaan yang telah dilakukan.
4. Mengetahui pengaruh sarat terhadap tekanan yang keluar dari orifice berdasarkan percobaan yang dilakukan.
5. Mengetahui pengaruh posisi sudut reflektor terhadap tekanan yang keluar dari orifice berdasarkan percobaan yang dilakukan.

1.4. MANFAAT

Manfaat yang diperoleh dari pelaksanaan studi eksperimen ini antara lain :

1. Mendapatkan pemahaman yang lebih terhadap sifat tekanan yang keluar dari orifice dari suatu sistem konversi energi gelombang laut jenis OWC.
2. Mendapatkan besarnya daya listrik dari sistem konversi energi gelombang laut.

1.5. BATASAN MASALAH

Agar lebih memudahkan analisa dan dapat dicapai tujuan yang diharapkan, maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Percobaan dilakukan dengan *wave flume* yang dimiliki laboratorium Rekayasa Teknik Pantai, Jurusan Teknik Kelautan, ITS – Surabaya.
2. Percobaan dilakukan dengan model uji jenis *Oscillating Water Column (OWC)* .
3. Gelombang reguler.
4. Zat cair *inviscid, incompressible, irrotational*.
5. Dasar perairan rata dan kedap.
6. Kedalaman air konstan.
7. Gesekan dasar laut (*Bottom Friction*) diabaikan.
8. Bukaannya tetap, variasi sudut reflektor.
9. Model berada pada posisi tetap (*fixed*)
10. Headloss pada pipa U diabaikan.

1.6. SISTEMATIKA TUGAS AKHIR

BAB I : Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Latar belakang berisi terutama tentang alasan dipilihnya judul Studi Eksperimen Pengaruh Reflektor Terhadap Tekanan yang Krluar dari Orifice Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Jenis OWC

1.2. Perumusan Masalah

Berbagai permasalahan yang timbul sehubungan dengan kondisi yang terdapat pada latar belakang.

1.3. Tujuan

Tujuan dilakukan eksperimen tentang OWC, memperoleh hasil yang sesuai dengan apa yang dimaksud dalam permasalahan.

1.4. Manfaat

Manfaat dari dilakukannya studi eksperimen tentang OWC

1.5. Batasan Masalah

Berbagai batasan atas permasalahan yang dibahas sehingga pembahasan dalam tugas akhir ini tetap pada fokus.

BAB II : Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

2.1. Tinjauan Pustaka

Berisi tentang berbagai penelitian terdahulu yang merupakan acuan terhadap studi eksperimen sistem konversi energi.

2.2. Landasan Teori

Berbagai teori yang digunakan dalam analisa dan pembahasan. Dalam hal ini teori yang dimasukkan adalah berbagai teori yang memiliki relasi terhadap topik.

BAB III : Metodologi Penelitian

Semua prosedur yang dilakukan dalam kegiatan studi eksperimen in.

BAB IV : Pemodelan dan Fasilitas Kolam Gelombang

Pelaksanaan pembuatan dan hasil dari model, kalibrasi dan penyekalaan.

Bab V : Analisa Data dan Pembahasan

Analisa terhadap hasil penelitian, berupa data, grafik dan argumen.

BAB VII : Penutup

Sebagai penutup dari laporan tugas akhir ini diberikan suatu kesimpulan dan saran.

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil atas hasil eksperimen.

5.2. Saran

Daftar Pustaka

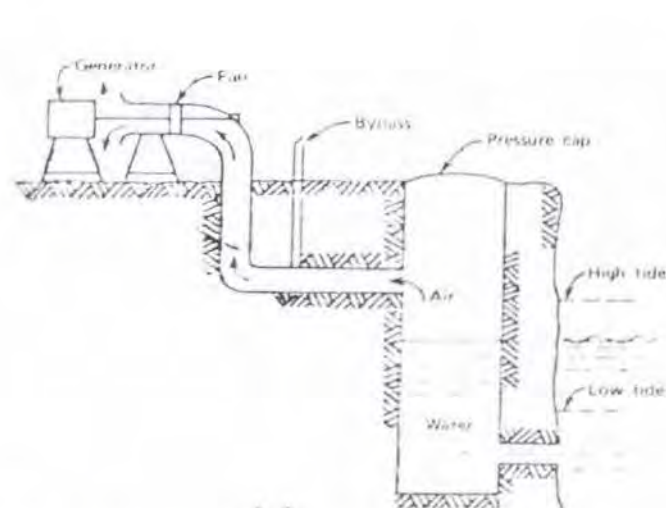
Lampiran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Ide untuk mengkonversikan energi gelombang laut menjadi bentuk energi yang bermanfaat bagi manusia bukanlah sesuatu yang baru. Konsep yang pertama dikenalkan adalah alat konversi energi gelombang laut jenis Bouchaux – Praceique, berdasarkan Palme (1920) dan merupakan bentuk sistem konversi energi yang pertama kali memperoleh hak paten memasuki abad ke-19 (gambar 2.1). Kemudian berbagai penelitian dilakukan untuk memperoleh suatu sistem konversi energi yang lebih baik.



Gambar 2.1. Sistem Konversi Energi Bouchaux – Praceique. Oleh Palme (1920)

Konsep sistem konversi energi gelombang laut yang ditemukan oleh Salter (1974), dengan dibantu oleh beberapa rekannya hampir menjadi kenyataan. Salter, Jeffrey dan Taylor (1976) mencoba mengembangkan suatu sistem konversi energi gelombang laut dengan cara memasang sejenis kepak sayap yang dapat naik turun mengikuti gerakan irama gelombang laut. Gerakan yang konstan dihubungkan secara mekanis untuk memutar turbin generator. Secara teori, alat yang diciptakan tersebut merupakan suatu konsep dengan efisiensi yang sangat tinggi. Namun dalam aplikasinya di lapangan mengalami banyak permasalahan, antara lain permasalahan arah gelombang yang selalu berubah, cara mooringnya, penggunaan sistem mekanis yang cukup besar, dan lain-lain. Pada saat yang hampir bersamaan Cockerel (1973), berhasil menciptakan suatu sistem konversi energi gelombang laut yang disebut dengan wave countering raft, yang mana sistem ini berupa beberapa buah rakit yang dihubungkan dengan sambungan engsel. Rakit-rakit tersebut dapat bergerak naik turun mengikuti gerakan gelombang dan gerak relatif antara rakit-rakit dikonversi menjadi gerak putar yang dapat menggerakkan turbin.

Kemudian Masuda (1971,1978) melakukan penelitian sistem konversi energi gelombang laut jenis cavity resonator. Sistem konversi dengan jenis yang sama juga dikembangkan oleh R.M. Ricafranca di laboratorium RMR Research and Engineering Service, Philipina, seperti yang ditulis oleh McCormick (1981). Kemudian dilakukan suatu penelitian berskala besar yang dilakukan secara bersama-sama oleh 5 negara, yaitu Canada, Irlandia, Jepang, Inggris dan Amerika Serikat, dibawah lembaga penelitian internasional, The International Energy Agency (IEA). Selanjutnya

McCormik (1974,1976) telah melakukan suatu studi teoritis atas sistem cavity resonator dan berhasil memperoleh suatu model matematis.

Penelitian yang sejenis dengan cavity resonator adalah suatu Oscillating Water Column (OWC) dimana penelitian dilakukan untuk menaikkan daya dengan mengubah sistem bagian bawah tabung dengan memberi bukaan (Taylor, 1980).

Dewasa ini, BPPT tengah melakukan penelitian tentang sistem konversi energi jenis Tapered Channel. Dan Suroso (1992, 1994) mulai mencoba melakukan penelitian kemungkinan penggunaan sistem konversi energi gelombang laut jenis Cavity resonator untuk diaplikasikan di wilayah laut Indonesia.

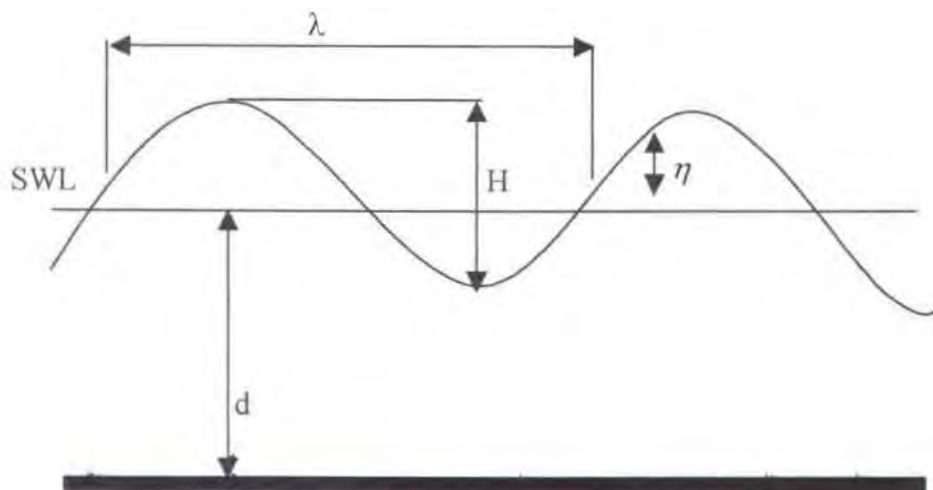
2.2. LANDASAN TEORI

2.2.1. Teori Gelombang Reguler

Faktor yang sangat berpengaruh dan mendukung dalam penelitian konversi energi gelombang laut adalah gelombang. Dimana tinggi gelombang dan periode memberikan kontribusi yang besar dalam menghasilkan energi, terutama untuk alat konversi jenis oscillating water column (OWC) dan cavity resonator.

Telah banyak teori gelombang yang diterapkan dalam kondisi lingkungan tertentu, yang penurunannya tergantung pada parameter – parameter yang spesifik baik lingkungan tersebut, kedalaman air, tinggi gelombang dan periode gelombang. Disamping itu teori gelombang juga diturunkan untuk diterapkan dalam memperhitungkan kemiringan dasar perairan. Meskipun demikian teori yang akan dibahas untuk gelombang pada perairan dengan dasar rata dan kedalaman yang konstan.

Gelombang reguler adalah suatu perambatan dari dua dimensi gelombang yang periodik dan dapat dibagi kedalam beberapa gelombang individu dengan bentuk yang identik. Parameter terpenting untuk mendeskripsikan gelombang reguler adalah seperti tampak pada gambar berikut ini.



Gambar 2.2. Profil gelombang beserta propertinya (Naess, 1985)

Keterangan :

H = wave height

λ = 2 puncak gelombang (1 panjang gelombang)

A = Amplitudo

T = periode gelombang

F = frekwensi gelombang

C = λ / T velocity (kecepatan gelombang)

Telah dikenal beberapa teori dalam gelombang linier, dalam hal ini akan di bahas dasar teori dari teori gelombang linier atau Teori Gelombang Linear Airy.

Teori gelombang linier merupakan teori gerak gelombang yang relatif sederhana dengan mengasumsikan bentuk gelombang sinusoidal di mana tinggi gelombang sinusoidal H adalah kecil dibandingkan dengan panjang gelombang λ dan kedalaman perairan d .

$$\frac{d}{\lambda} < \frac{1}{20}$$

Persamaan umum yang sering dipakai dalam teori gelombang linier diantaranya:

Profil permukaan gelombang

$$(\eta) = H/2 \cos(kx - \omega t) \quad (2-1)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2-3)$$

$$\omega = 2\pi/T \quad (2-4)$$

$$\omega^2 = gk \tanh kd \quad (2-5)$$

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) \quad (2-6)$$

persamaan diatas mengandung memiliki kendala terutama jika panjang gelombang (λ) tidak diketahui. Eckart (1952) memberikan pendekatan terhadap persamaan 2 – 6, dengan tingkat akurasi yang lebih baik. Persamaan pendekatan tersebut dituliskan sebagai berikut :

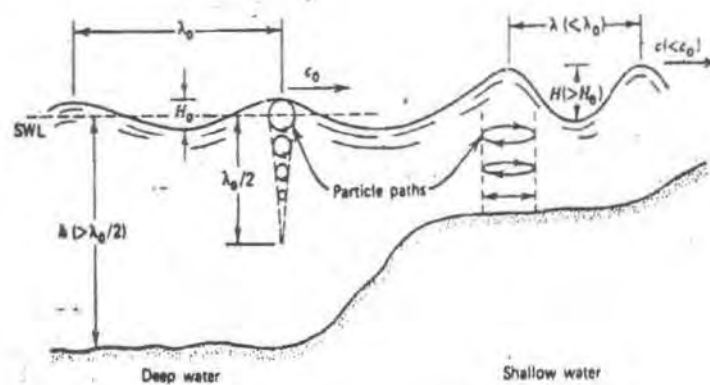
$$\lambda \approx \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 d}{T^2 g}\right)} \quad (2-7)$$

Secara umum, kecepatan horisontal u dan kecepatan vertikal v dari partikel air pada posisi (x,y) dan waktu t diekspresikan sebagai berikut:

$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{\lambda} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2-8)$$

$$v = \frac{H}{2} \frac{gT}{\lambda} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (2-9)$$

Ketika gelombang yang berasal dari laut dalam (deep Water) bergerak menuju perairan dangkal (shallow water), dimana terdapat perbedaan kedalaman kedalaman dasar laut yang mengakibatkan terjadi perubahan karakteristik pada tinggi gelombang dan panjang gelombang sehingga pada kedalaman tertentu gelombang mengalami apa yang disebut breaking wave. Kondisi perubahan kedalaman dasar laut ini dianalogikan dengan fungsi reflektor yang dipasang pada bagian bawah dari OWC.



Gambar 2.3. Gerakan partikel air di perairan dalam dan perairan dangkal

Secara teori, parameter panjang gelombang (λ) dan fase kecepatan gelombang (c) mendekati nilai 0 seiring dengan berubahnya kedalaman dasar laut mendekati 0. Persamaan 2 – 8 dan 2 - 9 dimana kondisi parameter gelombang dan kedalaman

dasar laut mendekati 0, maka untuk partikel air bergerak secara horisontal dan vertikal dengan komponen percepatan sebagai berikut:

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh[k(z+h)]}{\sinh(kh)} \cos(kx - \omega t) \quad (2-10)$$

dan

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh[k(z+h)]}{\sinh(kh)} \sin(kx - \omega t) \quad (2-11)$$

Persamaan pendekatan untuk Perairan dalam (*deep water*) dari persamaan (2-9) dan (2-10) diatas dapat dituliskan

$$u = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \cos(kx - \omega t) \quad (2-12)$$

dan

$$w = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \sin(kx - \omega t) \quad (2-13)$$

pada *shallow water* (perairan dangkal), dimana $h/\lambda < \frac{1}{20}$, maka persamaan pendekatannya adalah :

$$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{h}} \cos(kx - \omega t) \quad (2-14)$$

dan

$$w = \frac{\pi H}{T} \frac{(z+h)}{h} \sin(kx - \omega t) \quad (2-15)$$

Percepatan horisontal a_x dan percepatan vertikal a_y dapat diperoleh dari penurunan u dan v diatas terhadap waktu sehingga diperoleh:

$$a_x = \frac{du}{dt} = \omega^2 \frac{H}{2} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (2-16)$$

$$a_y = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 \frac{H}{2} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2-17)$$

dimana :

a_x = percepatan horizontal air pada koordinat (x,y) dari suatu kedalaman d

a_y = percepatan vertikal air pada koordinat (x,y) dari suatu kedalaman d

2.2.2. Energi Gelombang

Dalam kegiatan penelitian konversi energi gelombang, kita berusaha untuk memperoleh energi dari gelombang laut untuk di konversikan menjadi energi listrik. Untuk melakukan perhitungan energi yang dapat ditimbulkan oleh gelombang maka dapat diperoleh energi dalam satuan watt yang di timbulkan oleh tiap meter luas gelombang dan dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini :

$$P = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \quad (2-18)$$

dengan : $\rho = 1025 \text{ kg m}^{-3}$

sehingga diperoleh hasil dalam satuan kilowatt per meter. Juga dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = H^2 T \quad (2-19)$$

atau dengan kata lain, energi yang dibangkitkan dari gelombang laut dalam kilowatt per meter dari arah datang gelombang hampir setara dengan luas tinggi gelombang $(H) \times$ periode gelombang.

2.2.3. Pemodelan Fisik

Dalam kegiatan perencanaan dan analisa bangunan laut, begitu banyak persoalan yang tidak dapat dipecahkan dengan persamaan-persamaan matematis. Kendala-kendala tersebut terjadi disebabkan karena pada persamaan-persamaan tertentu diturunkan pada kondisi tertentu, yang mana keadaanya tidak sama dengan keadaan sebenarnya di lapangan. Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang timbul pada perencanaan secara matematis, maka dapat dipergunakan model fisik.

Modeling fisik merupakan salah satu pemodelan dalam memecahkan permasalahan teknik hidraulik (Widagdo, 1999). Pemodelan fisik dilaksanakan apabila fenomena fisik dari segala permasalahan yang ada pada prototip dapat diakomodasikan dalam sebuah model dengan skala kecil dengan kesebangunan yang memadai. Widagdo (1999) memberikan spesifikasi tugas atau peranan model hidraulik dalam mendukung kegiatan perencanaan pekerjaan bangunan air, yaitu :

1. Untuk meramalkan kemungkinan yang akan terjadi setelah bangunan dibuat.
2. Untuk mendapatkan suatu tingkat keyakinan yang tinggi atas keberhasilan suatu perencanaan bangunan.
3. Untuk mengetahui dan atau meramalkan penampilan bangunan serta pengaruhnya terhadap lingkungan.

4. Model hidraulik untuk pengembangan ilmu.

Model fisik dibuat dan dijalankan pada skala yang diperkecil dari keadaan sebenarnya (prototip), guna memberikan alternatif lain untuk mengamati fenomena di bidang teknik pantai. Dalrymple (1985) memberikan dua keuntungan utama yang diperoleh dengan digunakannya model fisik untuk menirukan fenomena yang terjadi di daerah pantai :

1. Model fisik mengintegrasikan semua persamaan-persamaan pembangkit suatu proses tanpa adanya penyederhanaan asumsi, seperti yang sering dilakukan dalam pemodelan numerik.
2. Diperkecilnya ukuran suatu prototip menjadi suatu model, maka mempermudah pengumpulan data, sehingga efeknya juga mengurangi biaya, dimana pengumpulan data lapangan lebih mahal dan lebih sulit untuk dilakukan apabila dilakukan pengumpulan data lapangan yang simultan.

Meskipun terdapat beberapa keuntungan bila dilakukan pemodelan fisik, namun model fisik juga memiliki beberapa kekurangan, misal (Hughes, 1993) :

1. Adanya efek skala. Efek skala ini terjadi karena kita membuat suatu model yang lebih kecil dari prototipnya di alam.
2. Efek laboratorium. Efek laboratorium ini dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan jika tidak dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipnya di alam.

Seringkali semua fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak disertakan dalam model fisik.

Meskipun tidak selalu terjadi, tetapi tidak dipungkiri, bahwa model fisik lebih mahal untuk dikerjakan dibandingkan dengan model numerik.

2.2.4. Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Jenis Oscilating Water Column (OWC)

Sistim konversi energi gelombang laut Oscillating Water Column (OWC) adalah suatu alat konversi berbentuk tabung silinder yang ditenggelamkan sebagian di dalam air laut, dimana bagian bawah tabung silinder dibiarkan terbuka sehingga air laut dapat masuk ke dalam, sedangkan pada bagian atas tertutup. Penutup bagian atas berbentuk kubah dengan lubang kecil yang disebut orifice di puncaknya, seperti yang dikenalkan oleh McCormick. Hiramoto (1978) mengaplikasikan dalam penelitian Kaimei dengan menggunakan perbandingan luasan tabung dan orifice adalah $A_1 / A_2 = 118$ atau kurang lebih 1/100 dalam diameter sehingga diperoleh tekanan yang maksimal.

Cara kerja sistem konversi energi gelombang jenis OWC ini adalah ketika gelombang laut bergerak menuju sistem OWC, maka air di bagian bawah dari sistem akan masuk ke dalam tabung silinder sehingga permukaan air di dalam silinder akan bergerak naik turun. Dan saat air di dalam tabung silinder naik, maka udara di atasnya akan tertekan dan akan keluar melalui orifice. Air di dalam OWC memiliki cara kerja dan fungsi yang sama dengan prinsip kerja dan fungsi sebuah piston. Tekanan udara yang keluar melalui orifice ini yang selanjutnya dimanfaatkan untuk menggerakkan

$$\frac{d^2 z_1}{dt^2} = -\omega^2 z_1 \quad (2-22)$$

selanjutnya diketahui bahwa kecepatan udara yang keluar melalui orifice dapat dihitung melalui persamaan

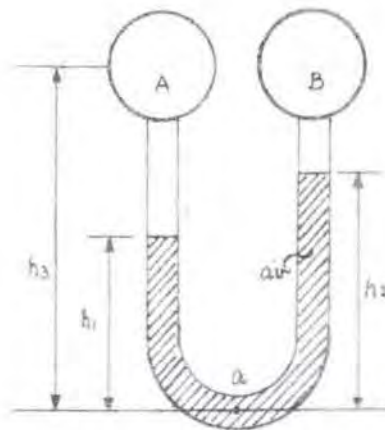
$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} \quad (2-23)$$

dan area dari kolom air adalah

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \quad (2-24)$$

2.2.5. Manometer

Manometer adalah suatu alat yang digunakan untuk menentukan beda tekanan dengan menggunakan cairan sebagai dasar perpindahan kolom. Sebuah manometer sederhana dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Tabung manometer U

Dengan persamaan

$$p_2 - p_1 = -\rho g(z_2 - z_1) \quad (2-25)$$

kemudian dapat dihitung beda ketinggian kolom fluida. Dan persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$p_2 - p_1 = \gamma h = \rho g h \quad (2-26)$$

dimana :

$$h = -(z_2 - z_1) \quad (2-27)$$

Untuk menentukan beda tekanan antara A dan B seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 diatas, persamaannya untuk tekanan di titik a dapat ditulis sebagai berikut :

$$p_a = h_1 \gamma_{H_2O} + (h_3 - h_1) \gamma_{udara} + p_A \quad (2-28)$$

$$p_a = h_2 \gamma_{H_2O} + (h_3 - h_2) \gamma_{udara} + p_B \quad (2-29)$$

atau

$$p_A - p_B = (h_2 - h_1) (\gamma_{H_2O} - \gamma_{udara}) \quad (2-30)$$

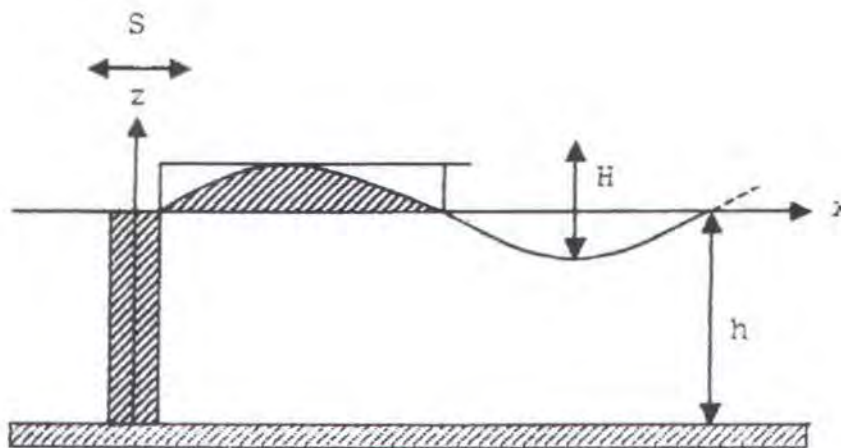
dengan berat spesifik udara yang jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan berat spesifik air, maka hal ini berarti bahwa beda tekanan mendekati atau sama dengan beda ketinggian kolom dikalikan dengan spesifik berat air. Sehingga dapat ditulis dengan persamaan

$$p_A - p_B = (h_2 - h_1) \gamma_{H_2O} \quad (2-31)$$

2.2.6. Pembangkitan Gelombang Di Laboratorium

2.2.6.1. Formulasi Perairan Dangkal

Pada perairan dangkal, prinsip dasar pembangkitan gelombang dengan papan pembangkit gelombang menurut Galvin (1964) adalah bahwa Volume air yang dipindahkan oleh gerakan papan pembangkit gelombang sama dengan volume puncak gelombang yang dibangkitkan.



Gambar 2.6. Teori Pembangkitan Gelombang di Laut dangkal

Dari gambar tersebut, dapat diketahui bahwa volume air yang dipindahkan oleh gerakan piston dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$V_1 = S.h$$

sedangkan volume puncak gelombang (V) dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$V_2 = \int_0^L \frac{H}{2} \sin(kx) dx$$

kemudian berdasarkan prinsip pada persamaan $V_1 = V_2$, maka

$$S.h = \int_0^{l/2} \frac{H}{2} \sin(kx) dx$$

$$S.h = \frac{H}{k}$$

atau

$$\frac{H}{S} = kh$$

dengan H adalah tinggi gelombang yang dapat dibangkitkan, s (stroke) adalah jarak gerakan papan pembangkit gelombang, k adalah angka gelombang dan h adalah tinggi/kedalaman air.

2.2.6.2. Pembangkit Gelombang Tipe Piston

Pembangkit gelombang tipe piston ini terdiri dari sebuah benda padat (solid Body) yang bergerak secara vertikal pada kolam gelombang di sekitar MWL (Mean Water Level). Gesekan vertikal dari piston dapat memindahkan fluida dan mengakibatkan terjadinya gelombang. Bentuk dan ukuran dari piston pembangkit gelombang ini dapat bermacam-macam. Akan tetapi bentuk silinder dan segitiga adalah yang paling banyak digunakan.

Alasan penggunaan pembangkitan gelombang tipe piston adalah karena pembangkit gelombang tipe ini dapat dibuat menyerupai mesin gelombang panjang dan dapat dengan mudah dipindahkan dalam gelombang.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pelaksanaan studi literatur meliputi paper-paper, journal dan buku buku yang berkaitan dengan masalah konversi energi gelombang

2. Pengumpulan Data

Survei data-data sekunder tentang karakteristik gelombang laut di Indonesia, seperti tinggi gelombang dan periode gelombang.

3. Persiapan peralatan dan Bahan

- a. Perancangan awal dimensi utama model sistem konversi energi gelombang laut jenis *Oscillating Water Column (OWC)*, terdiri dari penentuan bahan dan dimensi yang harus disesuaikan dengan data gelombang sehingga dapat mengakibatkan gerakan air di dalam tabung yang menghasilkan resonansi dengan gerakan gelombang air laut, dimana sistim akan dioperasikan/dipasang. Tinggi tabung harus diatur sedemikian sehingga sesuai dengan kondisi pasang surut.

- Skala Model

Sebelum menentukan bentuk dan dimensi dari model yang digunakan dalam pelaksanaan eksperimen konversi energi, maka terlebih dahulu ditentukan skala. Dalam penentuan skala ini dilakukan dengan cara

membandingkan antara besaran/parameter pada prorotipe dengan model.

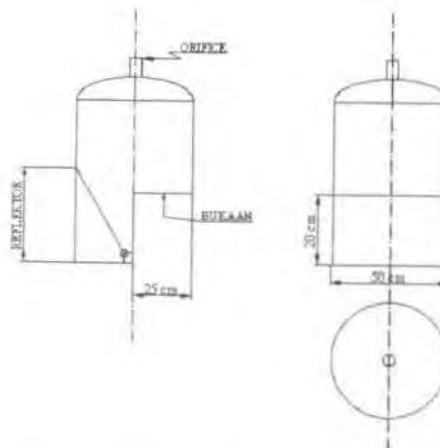
Dalam eksperimen sistem konversi energi gelombang jenis Oscillating Water Collumn ini terdapat beberapa parameter yang harus diskalakan, antara lain :

- a. Tinggi Struktur OWC
- b. Diamater Struktur
- c. Periode Gelombang
- d. Tinggi Gelombang
- e. Kedalaman Perairan
- f. Diameter Orifice

- Bahan Model

Bahan yang digunakan dalam pembuatan model Sistem Konversi Energi Gelombang Jenis Oscillating Water Collumn (OWC) ini terbuat dari Galvanised Plate Metal dengan tebal 2 mm.

- Bentuk Model



Gambar 3.1. Skema Oscollating Water Collumn

- b. Persiapan fasilitas *Wave Flume* yang dimiliki Laboratorium Rekayasa Teknik Pantai, Jurusan Teknik Kelautan, ITS – Surabaya.

Whole Body :

Panjang : 20,3 m
Tinggi : 2,5 m
Lebar : 2,3 m

Measuring Section :

Panjang : 14 m
Tinggi : 1,5 m
Lebar : 2 m
Kedalaman air : 0,8 m

- a. Persiapan alat pembangkit gelombang (*wave regenerator*)

Melakukan pengecekan pada peralatan laboratorium seperti komputer dan flume tank. Jenis pembangkit gelombang yang banyak digunakan oleh sebagian besar laboratorium adalah jenis geseran papan dimana jenis tersebut terdapat dua tipe yaitu *piston* dan *flap*.

- b. Persiapan alat pengukur gelombang (*wave probe*)

- c. Wave Absorber

4. Kalibrasi Alat

- a. Kalibrasi Pipa U

Untuk memperoleh ukuran diameter orifice sesuai dengan yang diharapkan, perlu dilakukan pemasangan selang dengan diameter 0.5 cm. Hal ini dikarenakan diameter yang terdapat pada bagian atas OWC masih

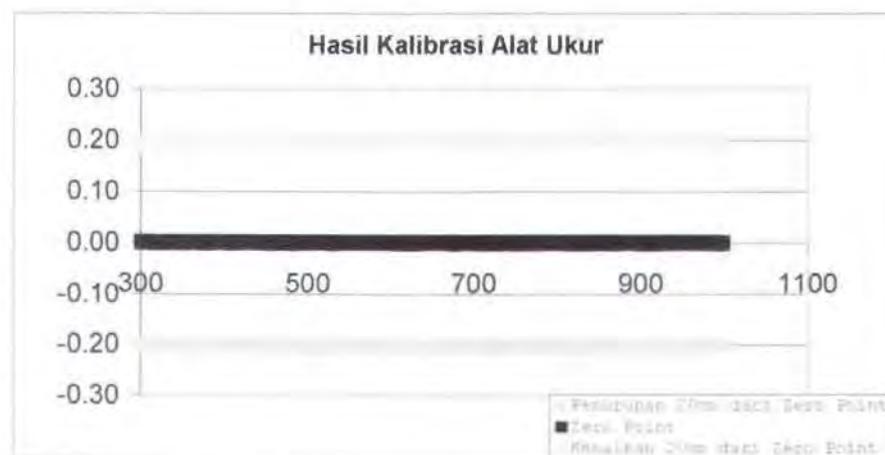
terlalu besar. Pemasangan selang pada orifice dilapisi dengan lilin mainan agar antara diameter lubang yang cukup besar dengan selang yang berukuran 0.5 cm dapat tertutup bagian sampingnya sehingga lubang yang ada pada orifice hanya dari selang. Proses pemasangan ini dilakukan pada kondisi air tenang, sehingga tekanan udara di dalam kolom tidak berubah. Pada bagian ujung selang yang lain dibentuk melengkung seperti huruf U dan ditempelkan pada sebuah papan pengukur vertikal. Langkah berikutnya adalah mengisi bagian U dengan air yang diberi warna sebagai datum. Akibat terjadinya osilasi udara dalam kolom maka air di dalam selang akan bergerak naik. Kenaikan permukaan air di dalam selang inilah yang diukur.

Pada bagian berikutnya adalah menghubungkan ujung selang U dengan alat pengukur manometer. Kemudian dilakukan running gelombang yang di pertahankan selama 10 – 15 detik atau hingga terjadi perubahan tinggi rata-rata dari permukaan air dalam selang. Dari beberapa kali kalibrasi pada parameter gelombang yang sama, maka ketika manometer menunjukkan tekanan 10 mBar dan ketinggian perubahan permukaan di dalam selang menunjukkan angka 5 cm. Sehingga dari beberapa data kalibrasi dapat diambil rata-rata adalah 2 mBar/cm.

b. Kalibrasi Wave Probe

Kalibrasi wave probe digunakan untuk mencari hubungan antara perubahan elektrode MTG yang tercelup dalam air dengan perubahan voltase yang tercatat pada recorder. Dengan cara melakukan pencatatan zero point lalu merekam kalibrasinya dengan menurunkan dan menaikkan

wave probe sejauh 20 cm dari posisi zero point. Setelah dilakukan pencatatan, wave probe dikembalikan kembali ke posisi zero point. Dilakukan perbandingan antara ketiga hasil pencatatan pada masing-masing posisi wave probe yaitu zero point, posisi probe diturunkan 20 cm dan dinaikkan 20 cm. Kemudian hasil kalibrasi ketiga posisi digrafikkan.



Gambar 3.2. Grafik Hasil Kalibrasi wave probe

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa perubahan elektrode MTG yang tercelup dalam air sama dengan perubahan voltase yang tercatat pada recorder. Hal ini ditunjukkan dengan kenaikan dan penurunan wave probe sebesar 20 cm dari zero point, angka yang tercatat pada grafik juga mengalami perubahan kenaikan dan penurunan sebesar 0.2 m atau 20 cm.

5. Input Data

Menentukan parameter gelombang yang akan dipakai sebagai data masukkan komputer dan dianalisa sebagai hasil dari eksperimen. Dimana parameter yang dipakai adalah :

- a. Tinggi gelombang (H)
- b. Periode Gelombang (T)

Sedangkan parameter struktur yang dicoba adalah :

- a. Kedalaman Struktur Terhadap Dasar Perairan
- b. Variasi Sudut Reflektor

6. Pelaksanaan Percobaan

- a. Pelaksanaan setting peralatan untuk percobaan konversi energi gelombang.
- b. Memasang model *OWC* ke dalam *flume tank*.
- c. Setelah semua peralatan dan fasilitas terpasang sesuai, maka dilakukan *running* untuk menjalankan pembangkit gelombang. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang reguler.

7. Pencatatan Tiap-tiap Running

Dilakukan pencatatan untuk setiap running, sehingga dapat diperoleh data untuk analisa perhitungan konversi energi gelombang.

8. Hasil Percobaan

Setelah diperoleh hasil berupa besar tekanan dan perubahan tinggi permukaan air dalam pipa U, maka dianalisa perbandingan tekanan yang keluar dari orifice dengan variasi bentuk dari model yang kemudian dibuat grafik perbandingan.

9. Pembuatan Laporan Tugas Akhir

10. Selesai



Gambar 3.3. Diagram Alir Metodologi Penelitian

BAB IV

PEMODELAN DAN FASILITAS KOLAM GELOMBANG

4.1. FASILITAS KOLAM GELOMBANG

Seluruh kegiatan percobaan konversi energi gelombang dilakukan di Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan, FTK – ITS Surabaya. Selain digunakan sebagai tempat percobaan fisik bagi mahasiswa-mahasiswa Tugas Akhir, laboratorium ini juga digunakan untuk percobaan yang lain seperti :

1. Offshore Hydrodynamics
2. Offshore Structural Dynamics
3. Numerical Modelling and Computation
4. Operational Research
5. Seabed and Underway Engineering

Ukuran dari kolam gelombang yang ada di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut adalah sebagai berikut :

Whole Body		Measuring Section	
Panjang	: 20,03 m	Panjang	: 14 m
Tinggi	: 2,5 m	Tinggi	: 1,5 m
Lebar	: 2,3 m	Lebar	: 2 m
		Kedalaman air	: 0,8 m

Material dari Side wall adalah toughened glass dan mild steel (SS400) serta Floor dan End Wall terbuat dari mild steel. Pembangkit Gelombang yang dipergunakan adalah tipe plunger, sedangkan gelombang yang dibangkitkan dapat berupa gelombang reguler ataupun irreguler.



Gambar 4.1. Flume Tank

Tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 0,3 m dengan periode gelombang berkisar antara 0,5 – 3,0 detik untuk gelombang reguler. Adapun untuk gelombang irreguler dapat dibuat spektrum gelombang baik itu JONSWAP, Pierson–Moskowitz, ISSC, ITTC yang berhubungan dengan

Perangkat Lunak yang ada. Adapun fasilitas laboratorium secara lengkap adalah sebagai berikut :

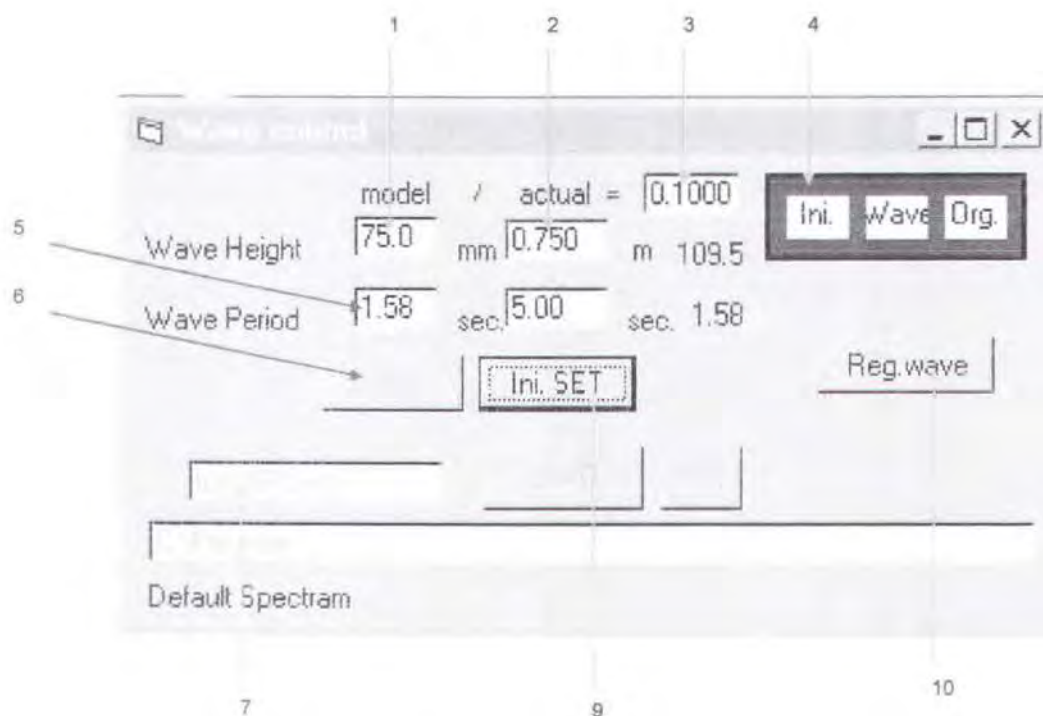
1. Flume Tank dan Komputasi

Spesifikasi dari Mesin dan perangkat lunak yang digunakan sebagai berikut :

- Type : Desktop
- CPU : Pentium (266 MHZ)
- RAM : 64 MB
- Hard Disk : 3 GB
- CRT : 14"
- Expanded Slot : 2
- CD-Rom Drive : 1
- Floppy Disc Drive : 3,5 " 1,4 MB
- Asesori lain : Mouse, keyboard, RS232C interface
- System software : Windows 95, MS-DOS Version 6.2



Gambar 4.2. Ruang Kontrol (Komputasi)



Gambar 4.3. Wave Maker Control Program

Keterangan :

- 1 : Setting wave height input column
- 2 : Actual wave height input column
- 3 : Model/actual scale input
- 4 : Wave condition display column
- 5 : Setting wave priod input column
- 6 : Wave drive start/stop command button
- 7 : Irregular wave data file name input column
- 8 : Actual wave period input column
- 9 : Initial setting move start command button
- 10 : Wave mode regular/irregular command button

2. Pembangkit Gelombang

Pembangkit gelombang yang digunakan di laboratorium Lingkungan dan Energi Laut terdiri dari 4 unit pengapung dan penggerak gelombang, sebuah pengontrol tekanan dan sebuah komputer khusus dengan sinyal listrik.

Masing-masing pengapung digerakkan ke atas dan ke bawah oleh actuator, yang terdiri dari linear slide assembly dan servo motor. Semua gerakan pengapung diserentakkan, semua penggerak dikontrol dengan komputer listrik.

3. Wave Absorber

Terbuat dari stainless steel dan bahan kimia dengan panjang 3 m.

4. Pengapung

Ukuran dari pengapung :

- Kedalaman : 0,6 m
- Panjang : 0,6 m
- Lebar : 0,5 m
- Sarat air : 0,4 m

5. Penggerak Gelombang

- Linear Slide Assembly
- Mesin
- Rencana Kerja
- Pengontrol

6. Generator Angin

Terbuat dari baja ringan pada bodynya dengan tipe centrifugal blower dan mesin bertipe AC inverter motor

1. Generator Aliran
2. Sistem Data Akurat

4.2. PEMODELAN

4.2.1. DATA GELOMBANG MASUKAN

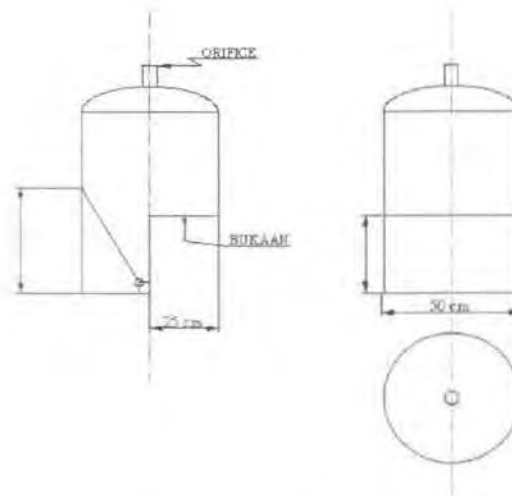
Percobaan pengaruh reflektor terhadap tekanan yang keluar dari orifice sistem konversi energi gelombang laut jenis OWC menggunakan struktur yang tetap dengan variasi gelombang dan reflektor, sedangkan bukaan OWC tetap. Dengan skala 1 : 10 untuk parameter gelombang, maka variasi tinggi (H) dan periode gelombang (T) masukan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Data Gelombang Input

No.	H_{actual} (m)	H_{model} (m)	T_{actual} (detik)	T_{model} (Detik)
1.	0,50	0.05	4	1.26
2.	0,75	0.075	5	1.58
3.	1,00	0.10	6	1.9
4.	1,25	0.125	7	2.22
5.	1,50	0.15	8	2.54

4.2.2. MODEL SISTEM KONVERSI ENERGI GELOMBANG JENIS OWC

Dalam tugas akhir mengenai percobaan pengaruh reflektor terhadap tekanan yang keluar dari orifice sistem konversi energi gelombang laut ini digunakan struktur jenis Oscillating Water Collumn dengan bentuk seperti di bawah ini



Gambar 4.4. Skema Struktur Oscillating Water Collumn

Bahan yang digunakan untuk model Struktur Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Jenis Oscillaitng Water Collumn ini adalah Galvanized Metal Plate dengan tebal 2 mm, dengan dimensi utama sebagai berikut :

Diameter (ϕ) : 50 cm

Tinggi (t) : 80 cm

Tinggi Bukaan (l) : 20 cm

Diameter Orifice (D) : 0,5 cm



Gambar 4.5. Tampak depan model OWC



Gambar 4.6. Tampak belakang model OWC

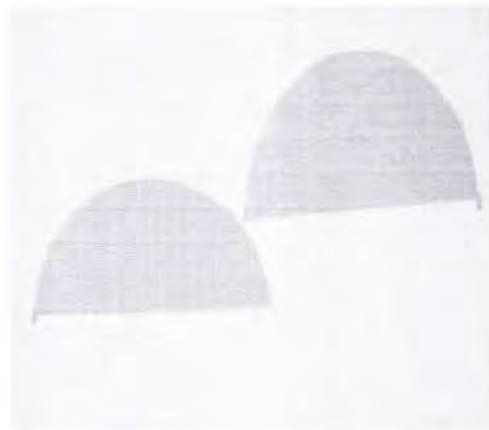
Bentuk reflektor sebelum dipasang pada bagian bawah OWC di tunjukkan oleh gambar berikut ini



Gambar 4.7. Model reflektor sudut 60° sebelum dipasang pada OWC



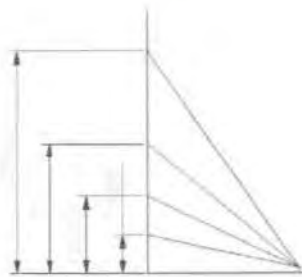
Gambar 4.8. Model reflektor sudut 45° sebelum dipasang pada OWC



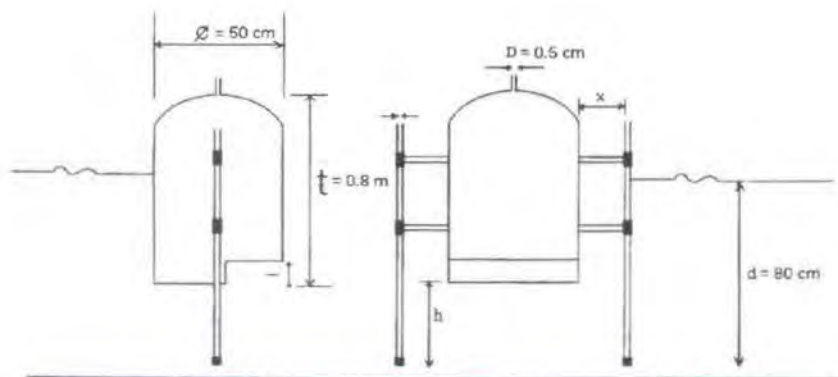
Gambar 4.9. Model reflektor sudut 15° dan 30° sebelum dipasang pada OWC



Gambar 4.10. Tampak bawah OWC dengan reflektor



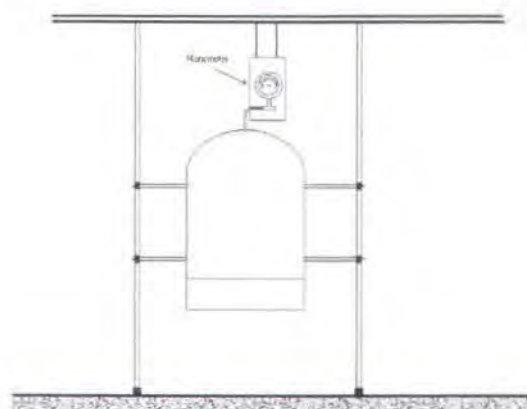
Gambar 4.11. Skema sudut reflektor



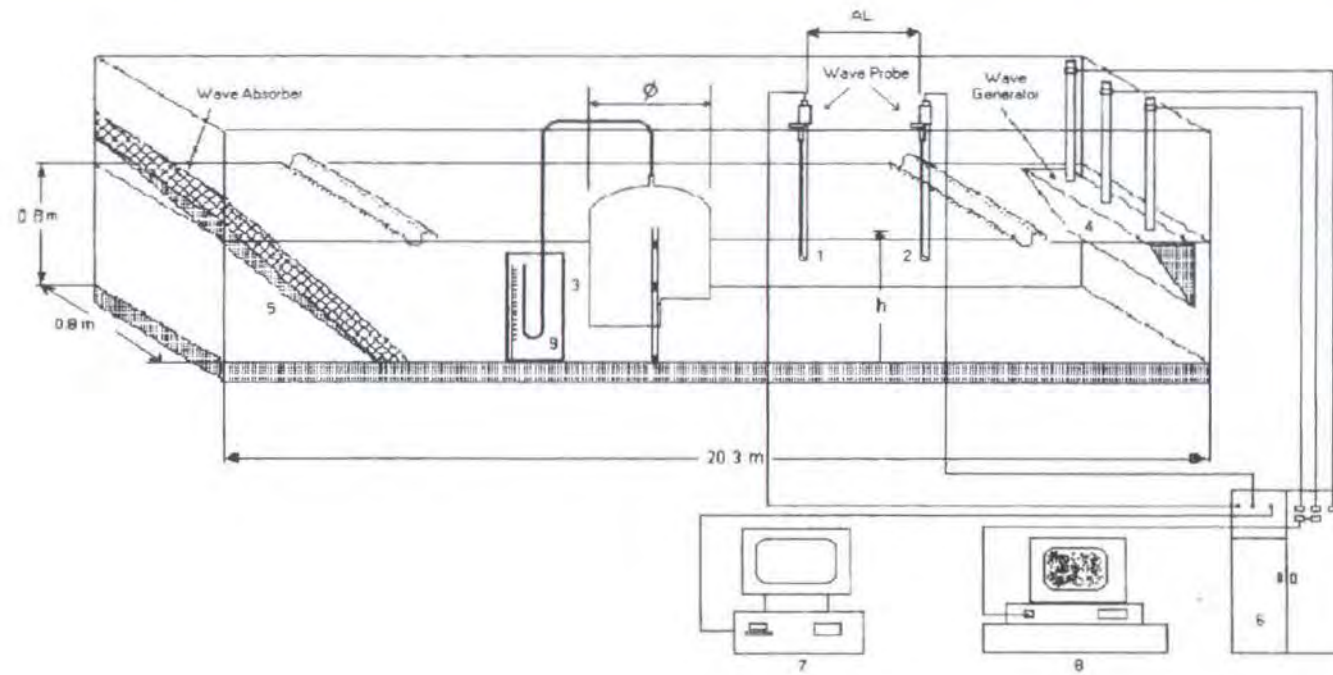
Tampak samping kanan

Tampak depan

Gambar 4.12. Instalasi Pengikatan model pada flume tank



Gambar 4.13. Posisi Manometer pada instalasi



Gambar 4.14. Instalasi eksperimen OWC

Keterangan :

1. Wave Probe
2. Wave probe
3. Model OWC
4. Piston pembangkit gelombang
5. Wave Absorber
6. Power Source
7. Computer pencatat output running gelombang
8. Computer pembangkit gelombang
9. Pipa U

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1. ANALISA

5.1.1. Data Gelombang

Gelombang yang dibangkitkan dalam studi eksperimen ini adalah gelombang reguler. Gelombang masukan yang digunakan dalam percobaan ini sebagai berikut :

Tabel 5.1. Data Gelombang Input

No.	H_{model}	Periode (T_{actual}) (Detik)	T_{model} (detik)
1.	0.05	4	1.26
2.	0.075	5	1.58
3.	0.100	6	1.90
4.	0.125	7	2.22
5.	0.150	8	2.54

5.1.2. Hasil Kalibrasi

Hasil dari kalibrasi alat dalam hal ini adalah pipa U dan alat pengukur tekanan (manometer) adalah untuk tiap sentimeter perubahan tinggi permukaan cairan dalam pipa U dapat dihasilkan tekanan sebesar 2 mBar yang ditunjukkan oleh alat pengukur tekanan.

5.1.3. Hasil Pencatatan Data Tekanan

Hasil eksperimen pengaruh reflektor terhadap tekanan yang keluar dari orifice sistem konversi energi gelombang laut jenis OWC adalah berupa data tekanan yang keluar dari orifice dan dicatat pada tabel sebagai berikut :

a. Sudut Reflektor 15°

Tabel 5.2. Data hasil percobaan pada sudut 15° dan sarat 70 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mmBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	1.80	0.90	1.60	0.80	1.40	0.70	1.40	0.70	1.00	0.50
0.075	3.20	1.60	2.60	1.30	1.80	0.90	2.40	1.20	1.80	0.90
0.1	4.20	2.10	3.60	1.80	2.60	1.30	3.20	1.60	2.60	1.30
0.125	4.80	2.40	4.60	2.30	3.20	1.60	3.60	1.80	3.20	1.60
0.15	5.60	2.80	5.60	2.80	3.80	1.90	4.60	2.30	4.20	2.10

Tabel 5.3. Data hasil percobaan pada sudut 15° dan sarat 60 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mmBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.20	1.10	1.80	0.90	1.40	0.70	1.80	0.90	1.20	0.60
0.075	3.20	1.60	2.80	1.40	2.00	1.00	2.40	1.20	1.80	0.90
0.1	4.20	2.10	3.60	1.80	2.40	1.20	3.20	1.60	2.20	1.10
0.125	5.20	2.60	5.20	2.60	3.20	1.60	3.40	1.70	3.60	1.80
0.15	4.20	2.10	4.20	2.10	3.40	1.70	4.00	2.00	4.20	2.10

Tabel 5.4. Data hasil percobaan pada sudut 15° dan sarat 50 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mmBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.20	1.1	2.00	1	1.80	0.90	2.00	1.00	1.40	0.70
0.075	3.20	1.60	3.20	1.60	2.40	1.20	2.80	1.40	2.20	1.10
0.1	4.40	2.20	4.60	2.30	2.80	1.40	3.60	1.80	3.20	1.60
0.125	5.60	2.80	5.60	2.80	3.40	1.70	4.20	2.10	3.60	1.80
0.15	6.80	3.40	7.20	3.60	4.80	2.40	4.80	2.40	4.60	2.30

b. Sudut Reflektor 30° Tabel 5.5. Data hasil percobaan pada sudut 30° dan sarat 70 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mmBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.20	1.10	1.80	0.90	1.60	0.80	1.60	0.80	1.20	0.60
0.075	3.20	1.60	2.60	1.30	2.40	1.20	2.40	1.20	2.00	1.00
0.1	4.20	2.10	3.80	1.90	3.20	1.60	3.40	1.70	2.80	1.40
0.125	5.40	2.70	4.60	2.30	3.40	1.70	4.00	2.00	3.20	1.60
0.15	5.00	2.50	6.40	3.20	4.00	2.00	5.00	2.50	4.20	2.10

Tabel 5.6. Data hasil percobaan pada sudut 30° dan sarat 60 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.24	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.050	2.40	1.20	1.80	0.90	1.80	0.90	2.00	1.00	1.40	0.70
0.075	3.40	1.70	3.00	1.50	2.40	1.20	2.80	1.40	2.20	1.10
0.10	4.40	2.20	4.00	2.00	3.00	1.50	3.40	1.70	3.00	1.50
0.125	5.20	2.60	5.60	2.80	3.40	1.70	3.80	1.90	3.80	1.90
0.15	6.60	3.30	6.40	3.20	4.20	2.10	4.60	2.30	4.60	2.30

Tabel 5.7. Data hasil percobaan pada sudut 30° dan sarat 50 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	Cm	mBar	cm
0.05	2.20	1.10	2.00	1.00	1.80	0.90	1.80	0.90	1.40	0.70
0.075	3.60	1.80	3.40	1.70	2.60	1.30	3.20	1.60	2.40	1.20
0.10	4.60	2.30	4.40	2.20	4.00	2.00	3.60	1.80	3.80	1.90
0.125	5.60	2.80	5.20	2.60	4.00	2.00	4.60	2.30	4.20	2.10
0.15	6.40	3.20	6.60	3.30	4.80	2.40	5.80	2.90	5.20	2.60

c. Sudut Reflektor 45° Tabel 5.8. Data hasil percobaan pada sudut 45° dan sarat 70 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mmBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	Cm	mBar	cm	MBar	cm
0.05	2.40	1.20	2.00	1.00	1.60	0.80	1.60	0.80	1.20	0.60
0.075	3.20	1.60	3.00	1.50	2.40	1.20	2.60	1.30	1.60	0.80
0.10	4.40	2.20	3.80	1.90	3.00	1.50	3.20	1.60	2.80	1.40
0.125	5.40	2.70	5.20	2.60	3.60	1.80	3.80	1.90	3.60	1.80
0.15	7.20	3.60	6.20	3.10	4.20	2.10	4.80	2.40	4.20	2.10

Tabel 5.9. Data hasil percobaan pada sudut 45° dan sarat 60 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	Cm	mBar	cm	MBar	cm
0.05	2.60	1.30	2.20	1.10	1.60	0.80	1.80	0.90	1.20	0.60
0.075	3.40	1.70	3.20	1.60	2.40	1.20	2.80	1.40	2.00	1.00
0.10	4.40	2.20	4.20	2.10	3.20	1.60	3.40	1.70	2.80	1.40
0.125	5.60	2.80	5.20	2.60	3.60	1.80	4.00	2.00	3.80	1.90
0.15	7.00	3.50	6.80	3.40	4.40	2.20	4.40	2.20	4.80	2.40

Tabel 5.10. Data hasil percobaan pada sudut 45° dan sarat 50 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.050	2.40	1.20	2.00	1.00	1.80	0.90	2.20	1.10	1.60	0.80
0.075	3.40	1.70	3.40	1.70	2.80	1.40	3.20	1.60	2.60	1.30
0.10	4.40	2.20	4.00	2.00	3.40	1.70	3.80	1.90	3.20	1.60
0.125	5.80	2.90	5.80	2.90	3.60	1.80	4.60	2.30	3.80	1.90
0.15	7.20	3.60	7.60	3.80	4.80	2.40	5.00	2.50	4.20	2.10

d. Sudut Reflektor 60° Tabel 5.11. Data hasil percobaan pada sudut 60° dan sarat 70 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	Cm	MBar	cm
0.050	2.20	1.10	2.00	1.00	1.60	0.80	1.60	0.80	1.20	0.60
0.075	3.40	1.70	3.00	1.50	2.40	1.20	2.60	1.30	1.80	0.90
0.100	4.00	2.00	3.80	1.90	3.00	1.50	3.40	1.70	3.00	1.50
0.125	5.20	2.60	5.20	2.60	3.60	1.80	4.00	2.00	3.60	1.80
0.150	7.00	3.50	6.20	3.10	4.00	2.00	4.80	2.40	4.20	2.10

Tabel 5.12. Data hasil percobaan pada sudut 60° dan sarat 60 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	MBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.050	2.60	1.30	2.00	1.00	1.80	0.90	2.00	1.00	1.40	0.70
0.075	3.40	1.70	3.20	1.60	2.40	1.20	2.80	1.40	2.20	1.10
0.10	4.40	2.20	4.00	2.00	3.20	1.60	3.60	1.80	3.00	1.50
0.125	5.80	2.90	5.60	2.80	3.40	1.70	3.80	1.90	3.20	1.60
0.15	6.20	3.10	6.60	3.30	4.80	2.40	5.60	2.80	4.80	2.40

Tabel 5.13. Data hasil percobaan pada sudut 60° dan sarat 50 cm

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	MBar	cm	mBar	cm
0.050	2.40	1.20	2.00	1.00	1.80	0.90	2.20	1.10	1.40	0.70
0.075	3.40	1.70	3.20	1.60	2.80	1.40	3.00	1.50	2.40	1.20
0.10	4.40	2.20	4.20	2.10	3.20	1.60	3.60	1.80	3.40	1.70
0.125	5.60	2.80	5.20	2.60	3.60	1.80	4.00	2.00	4.40	2.20
0.15	6.40	3.20	7.20	3.60	5.00	2.50	4.60	2.30	5.00	2.50

5.2. PEMBAHASAN

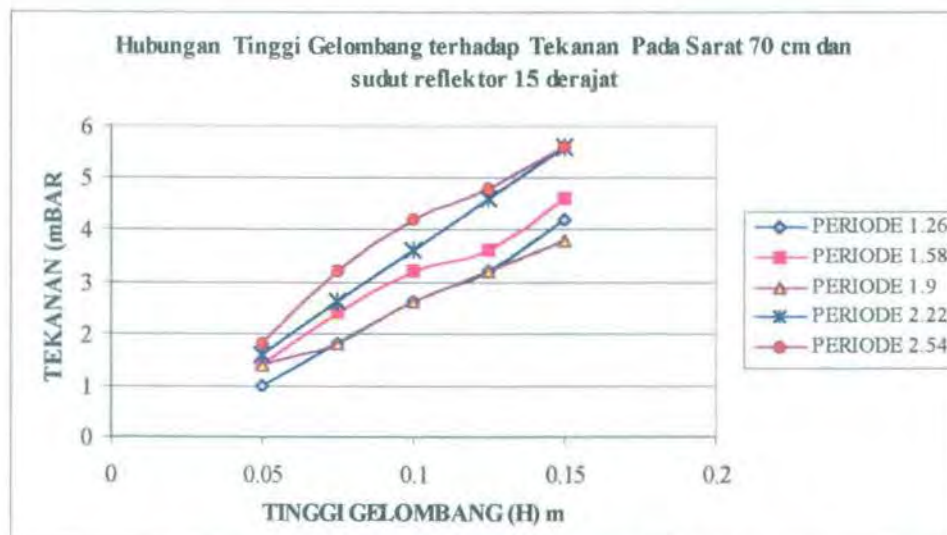
Studi eksperimen pengaruh reflektor pada tekanan yang keluar dari orifice sistem konversi energi gelombang laut jenis OWC menghasilkan data berupa perubahan tinggi permukaan air yang ada di dalam pipa U dan kemudian di ubah ke bentuk satuan tekanan sesuai dengan hasil kalibrasi dengan alat ukur manometer. Pengukuran tekanan dilakukan dengan variasi-variasi antara lain :

1. Tinggi Gelombang : 0.50 m, 0.75 m, 1.00 m, 1.25 m dan 1.5 m
2. Periode Gelombang : 4, 5, 6, 7, dan 8 detik
3. Sarat : 50 cm, 60 cm dan 70 cm
4. Sudut Reflektor : 15° , 30° , 45° dan 60°

Berdasarkan data yang diperoleh dari eksperimen sistem konversi energi gelombang jenis OWC, maka dapat dilakukan perbandingan parameter diatas dalam grafik sebagai berikut :

5.2.1. Pengaruh Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan

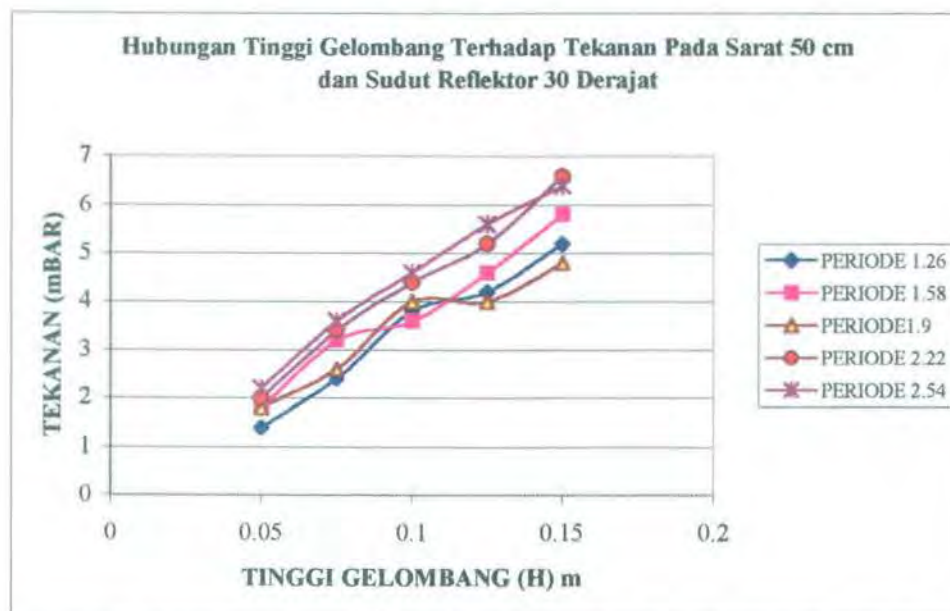
- a. Pada Posisi Sudut Reflektor 15°



Gambar 5.1. Grafik hubungan tinggi gelombang terhadap tekanan

Pada posisi sudut reflektor 15 , diambil grafik pada kombinasil sarat 70 cm. Berdasarkan grafik tersebut tampak bahwa tinggi gelombang (H) yang dimasukkan berpengaruh secara linier terhadap tekanan yang keluar dari orifice. Berdasarkan data percobaan pada kondisi sudut reflektor 15° diperoleh tekanan maksimum akibat tinggi gelombang sebesar 7.2 mBar pada tinggi gelombang 1.5 m, periode 7 detik, sarat 50 cm.

b. Pada Posisi Sudut 30°

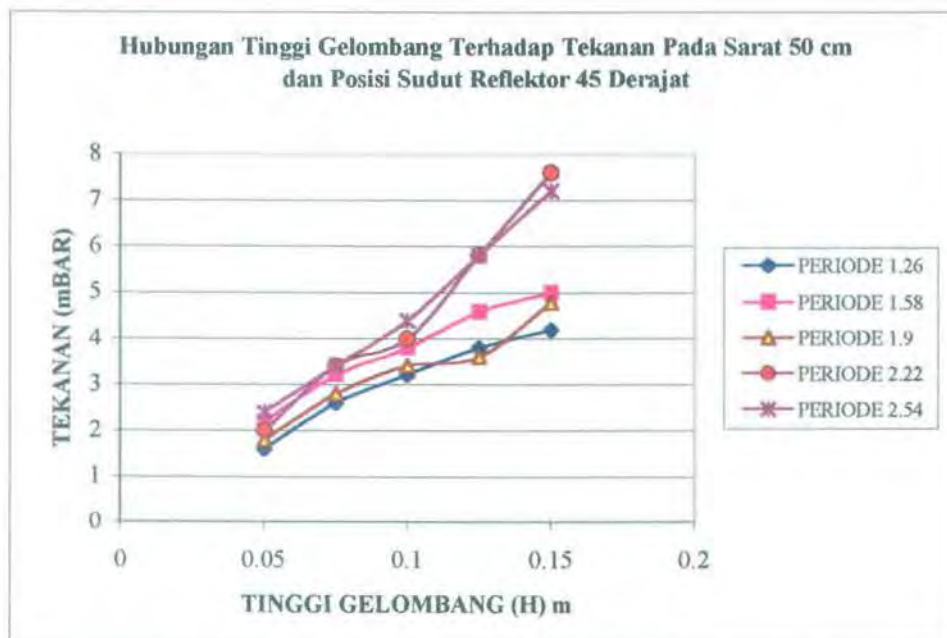


Gambar 5.2. Grafik Hubungan tinggi gelombang terhadap tekanan pada sudut reflektor 30° dan sarat 50 cm

Pada posisi sudut reflektor 30° , diambil grafik pada kombinasi sarat 50 cm. Berdasarkan grafik tersebut tampak bahwa tinggi gelombang (H) yang dimasukkan berpengaruh secara linier terhadap tekanan yang keluar dari orifice. Pada kondisi sudut reflektor 30° diperoleh tekanan maksimum akibat

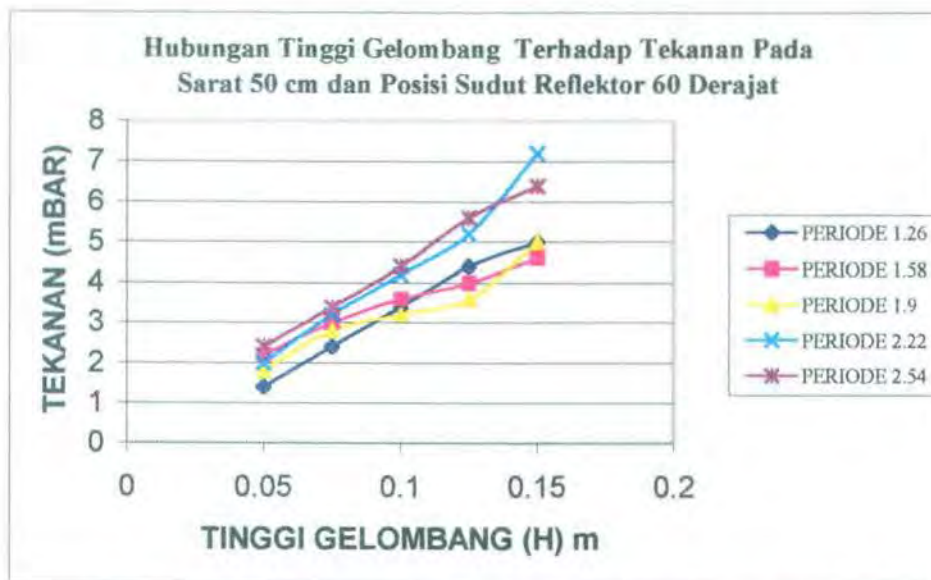
tinggi gelombang sebesar 1.5m, periode 7 detik, sarat 50 cm dan pada tinggi gelombang 1.5 m, periode 8 detik dan sarat 60 cm. Tekanan rata-rata terbesar terjadi pada sarat 50 cm

c. Pada Sudut Sudut 45°



Gambar 5.3. Grafik hubungan tinggi gelombang terhadap tekanan pada sudut reflektor 45° dan sarat 50 cm

Pada posisi sudut reflektor 45°, diambil grafik pada kombinasil sarat 50 cm. Berdasarkan grafik tersebut tampak bahwa tinggi gelombang (H) yang dimasukkan berpengaruh secara linier terhadap tekanan yang keluar dari orifice. Pada kondisi sudut reflektor 45° diperoleh tekanan maksimum akibat tinggi gelombang sebesar 7.2 mBar pada tinggi gelombang 1.5 m, periode 7 detik, sarat 50 cm.

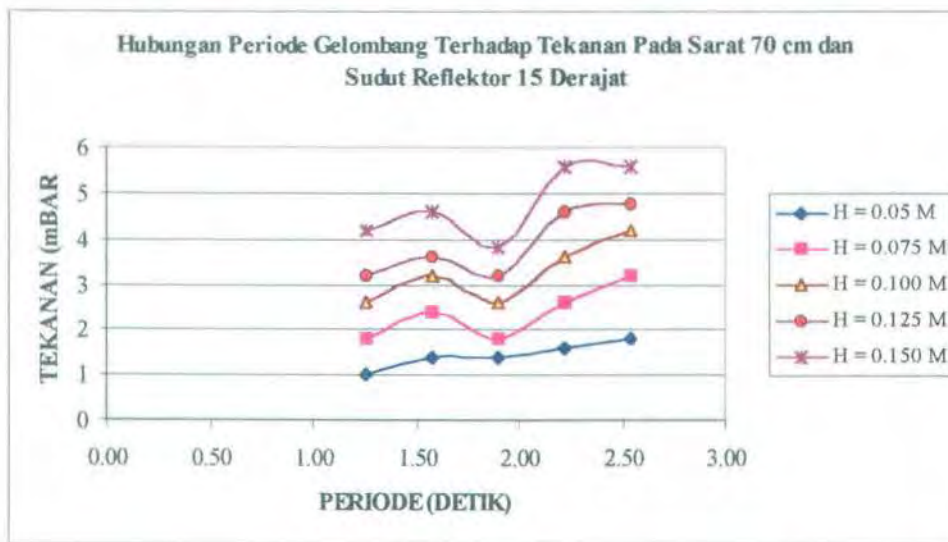
d. Hubungan Sudut reflektor 60° 

Gambar 5.4. Grafik hubungan tinggi gelombang terhadap tekanan pada sudut reflektor 60° dan sarat 50 cm

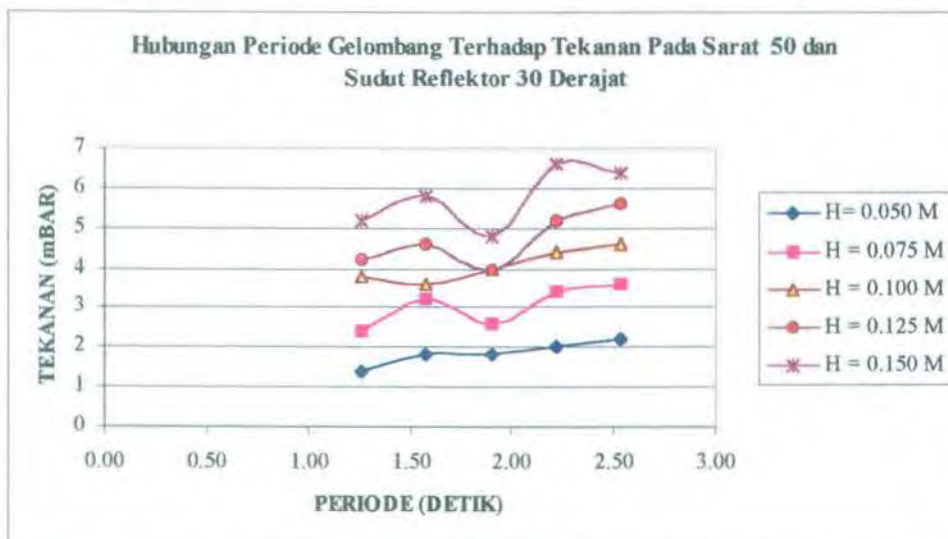
Pada posisi sudut reflektor 60° , diambil grafik pada kombinasi sarat 70 cm. Berdasarkan grafik tersebut tampak bahwa tinggi gelombang (H) yang dimasukkan berpengaruh secara linier terhadap tekanan yang keluar dari orifice. Pada kondisi sudut reflektor 60° diperoleh tekanan maksimum akibat tinggi gelombang sebesar 7.2 mBar pada tinggi gelombang 1.5 m, periode 7 detik sarat 50 cm.

Dari keseluruhan tinggi gelombang yang dimasukkan sebagai gelombang masukan, maka dapat dilihat bahwa tekanan yang dihasilkan oleh sistem konversi energi semakin tinggi seiring dengan semakin besarnya tinggi gelombang yang dimasukkan. Pada kombinasi tinggi gelombang 1,5 m, periode 7 detik, kedalaman 30 dan posisi sudut reflektor 45° berhasil diperoleh tekanan maksimum dari sistem, yaitu sebesar 7,6 mBar.

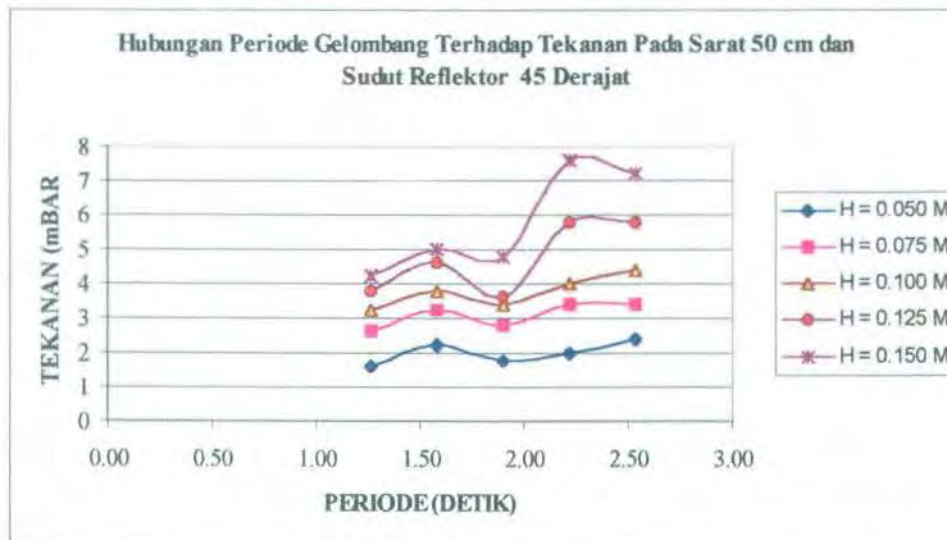
5.2.2. Pengaruh Periode Gelombang Terhadap Tekanan



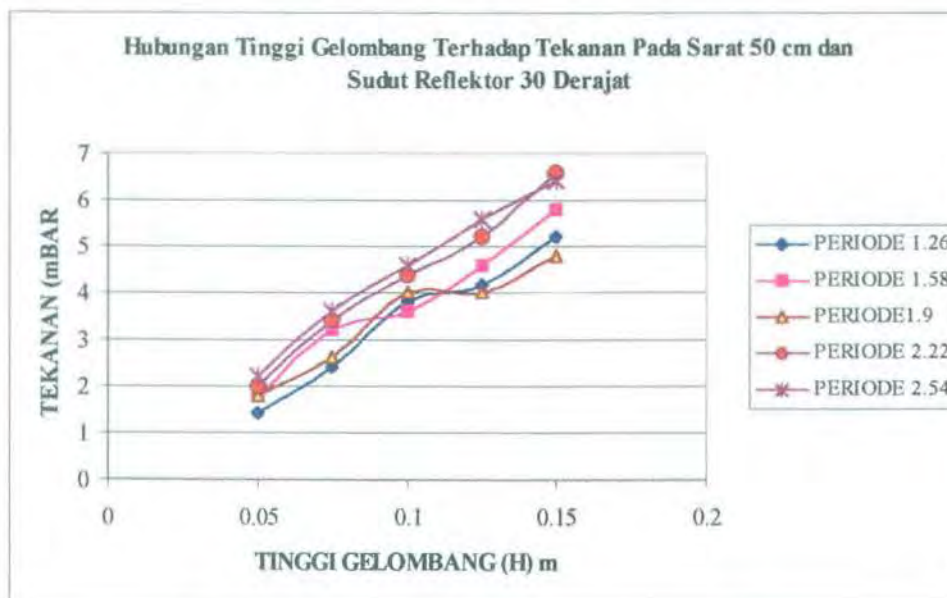
Gambar 5.5. Grafik hubungan tekanan terhadap periode pada sarat 70 cm dan sudut reflektor 15°



Gambar 5.6. Grafik hubungan periode terhadap tekanan pad sarat 50 cm dan sudut reflektor 30°



Gambar 5.7. Grafik hubungan periode terhadap tekanan pada sarat 50 cm dan sudut reflektor 45°



Gambar 5.8. Grafik Hubungan Periode terhadap tekanan pada posisi sudut reflektor 60° dan sarat 50 cm

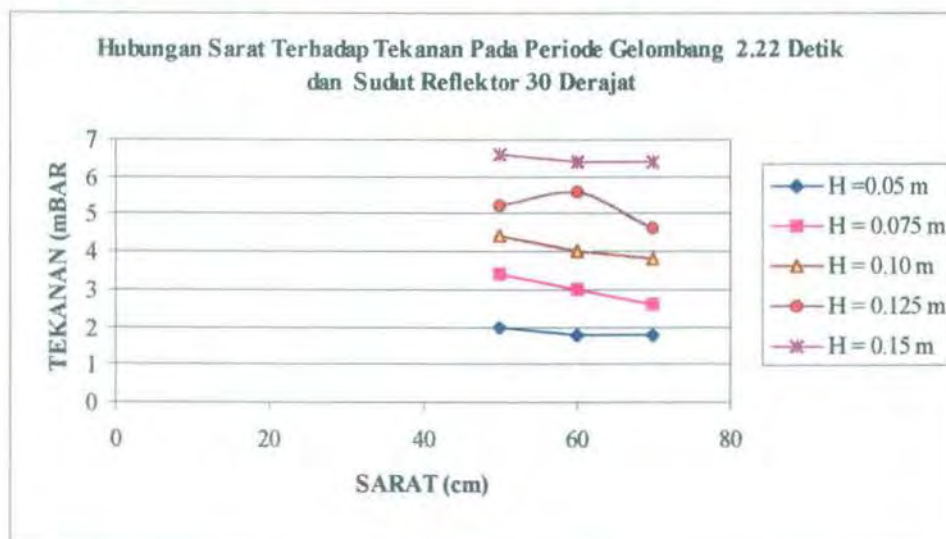
Dari gambar grafik Periode terhadap tekanan diatas dapat diketahui bahwa terjadi kecenderungan penurunan periode pada kondisi periode 1.9 detik. Hal ini disebabkan karena pada periode 1.9 detik perubahan tinggi permukaan air di

dalam OWC lebih kecil bila dibandingkan dengan periode 1.58, 2.22 dan 2.54 detik.

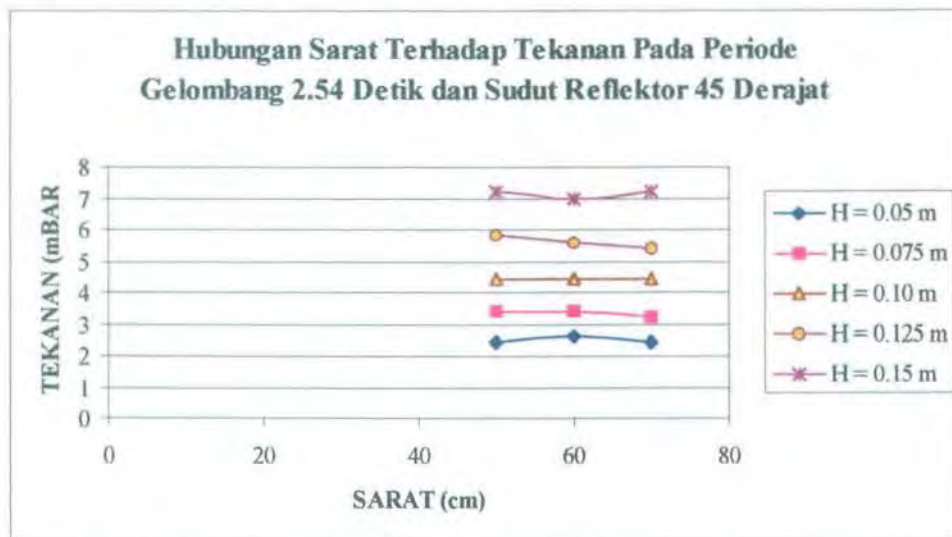
5.2.3. Pengaruh Sarat Terhadap Tekanan



Gambar 5.9. Grafik hubungan sarat terhadap tekanan pada sudut reflektor 15° dan periode 1.26 detik



Gambar 5.10. Grafik hubungan sarat terhadap tekanan pada sudut reflektor 30° dan periode 2.22 detik



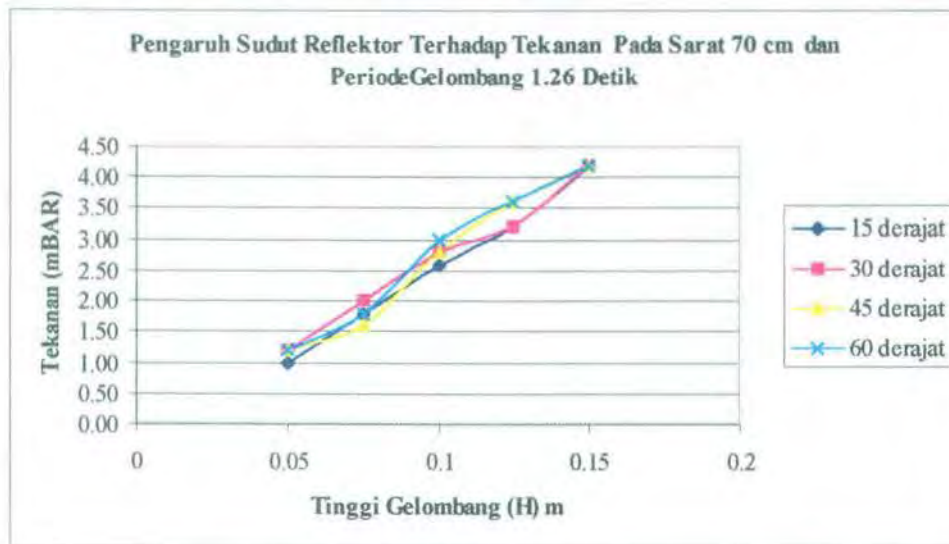
Gambar 5.11. Grafik hubungan sarat terhadap tekanan pada sudut reflektor 45° dan periode 2.54 detik



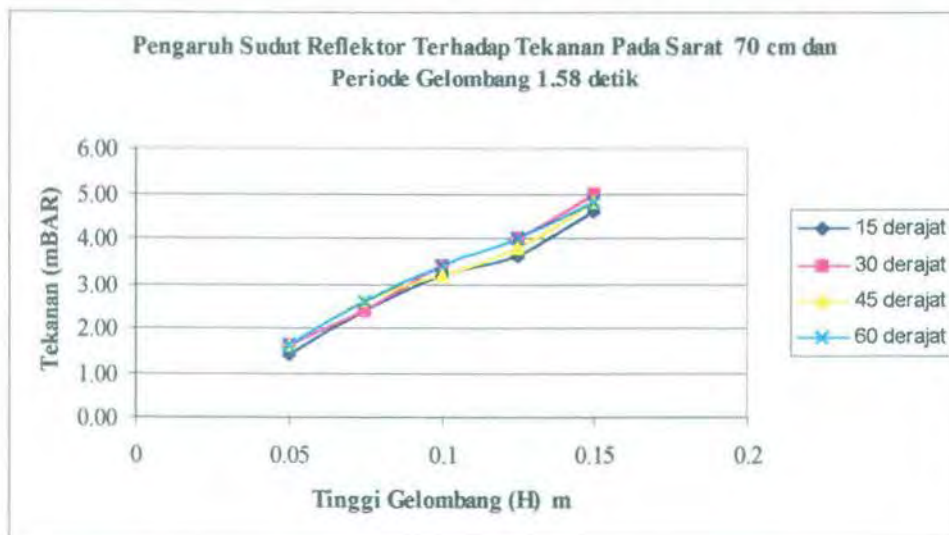
Gambar 5.12. Grafik hubungan sarat terhadap tekanan pada sudut reflektor 60° dan periode 2.22 detik

Dari data percobaan sistem konversi energi gelombang laut jenis OWC, diperoleh bahwa sarat sistem memberikan pengaruh pada tekanan yang dihasilkan oleh sistem. Hal ini dapat terjadi karena dengan semakin besarnya sarat sistem maka semakin sedikit volume air di dalam tabung OWC, sehingga perubahan tinggi permukaan air di dalam tabung kecil.

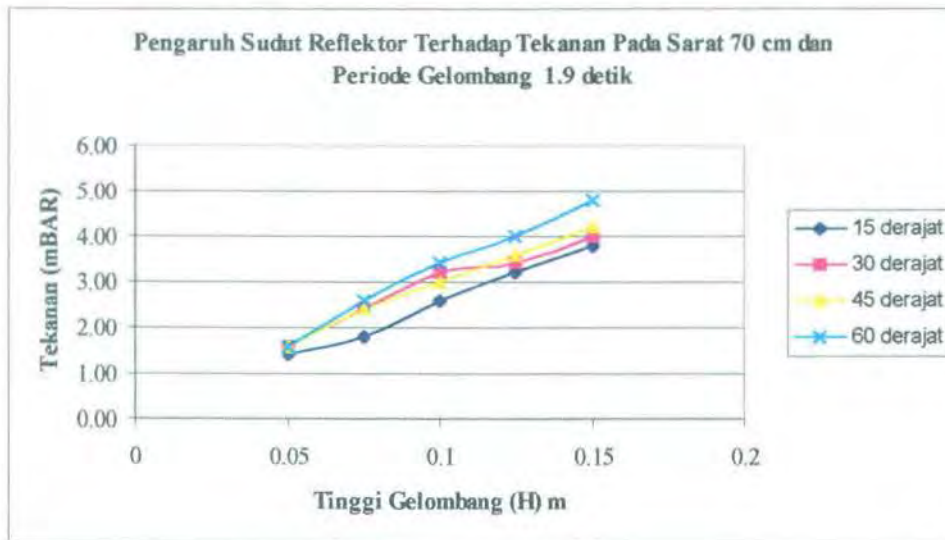
5.2.4. Pengaruh Reflektor Terhadap Tekanan



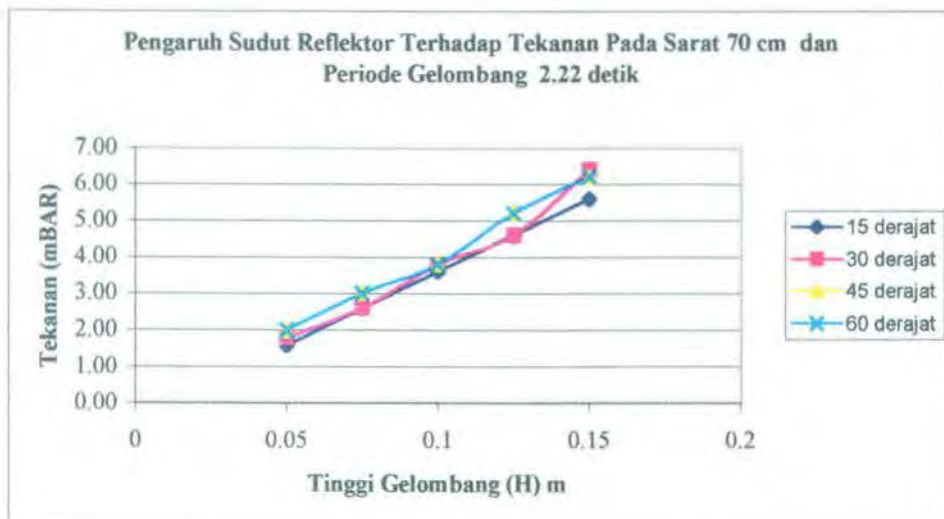
Gambar 5.13. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap tekanan hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 1.26 detik



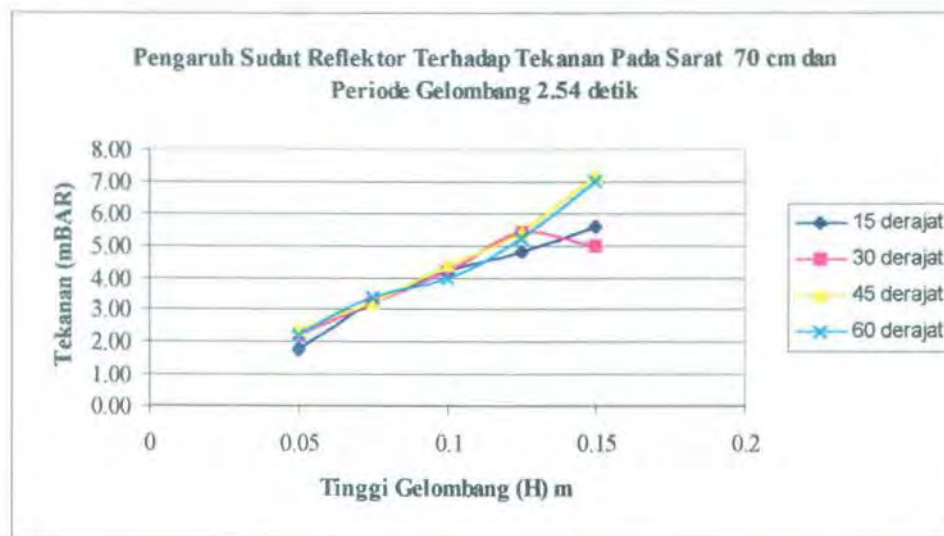
Gambar 5.14. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap tekanan hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 1.58 detik



Gambar 5.15. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap tekanan hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 1.9 detik



Gambar 5.16. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 2.22 detik



Gambar 5.18. Grafik pengaruh sudut reflektor terhadap hubungan tinggi gelombang dan tekanan pada sarat 70 cm dan periode 2.54 detik

Berdasarkan data percobaan dan grafik diatas, maka dapat diketahui bahwa pada tinggi gelombang yang sama, posisi sudut reflektor memberikan pengaruh yang linear terhadap tekanan. Dimana reflektor pada sistem konversi energi gelombang jenis OWC ini analogi dengan perubahan kedalaman dasar laut kondisi penjalaran gelombang dari perairan dalam ke perairan dangkal.

Partikel air pada gelombang dari laut dalam yang bergerak ke laut dangkal atau dalam eksperimen ini dari dasar yang rata bergerak menuju OWC dengan reflektor pada bagian bawahnya, dimana selama berada pada perairan yang dalam atau sebelum mengenai reflektor akan membentuk orbit yang berbentuk lingkaran dan ketika bergerak pada perairan dangkal akan bergerak pada orbit yang berbentuk elips. Seperti pada gambar 2.3. Perubahan kedalaman yang secara drastis pada dasar laut atau dasar miring akan menyebabkan *disruption* pada gelombang, dimana seperti diterangkan dalam teori gelombang linier Airy,

gelombang pada perairan dangkal akan membentuk elips sejajar dengan bentuk dasar. Dengan adanya kemiringan dasar laut maka akan mengakibatkan bentuk orbit gelombang yang elips akan mengikuti bentuk dasar sehingga akan terjadi kemiringan dari elips tersebut. Hal ini yang menyebabkan terjadinya perubahan permukaan gelombang yang lebih tinggi dibanding pada permukaan gelombang di laut dalam. Seperti pada gambar 5.19



Gambar 5.19. Orbit gelombang pada dasar miring

Dari hasil studi eksaperimen pengaruh reflektor terhadap tekanan yang keluar dari orifice sistem konversi energi gelombang laut jenis OWC ini, data-data yang diperoleh dari hasil eksperimen tidak dapat dilakukan perbandingan/ validasi, karena eksperimen ini merupakan penelitian baru sehingga belum ada data-data pembanding dari hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya.



BAB VI

PENUTUP

6.1. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan fisik studi eksperimen pengaruh reflektor terhadap tekanan yang keluar dari orifice sistem konversi energi jenis Oscillating Water Collumn dapat diambil kesimpulan :

1. Bahwa tekanan maksimum yang dihasilkan oleh sistem adalah sebesar 7.6 mBar , yaitu pada kondisi sarat (draft) 50 cm, sudut reflektor 45° , tinggi gelombang 0.125 m, dan pada periode 2.22 detik.
Tekanan minimum yang dihasilkan oleh sistem adalah sebesar 1 mBar , yaitu pada kondisi sarat (draft) 70 cm, sudut reflektor 15° , tinggi gelombang 0,050 m, dan pada periode 1.26 detik.
2. Perubahan tinggi gelombang dalam eksperimen ini berpengaruh cukup besar dalam perubahan tekanan yang dihasilkan oleh sistem. Dimana rata-rata perubahan tinggi gelombang berkorelasi linear terhadap tekanan yang dihasilkan oleh sistem.
3. Periode gelombang memberikan hasil yang cukup variatif. Secara umum, periode gelombang memberikan korelasi linier terhadap tekanan yang dihasilkan. Akan tetapi, untuk periode 1.9 detik terjadi penurunan besar tekanan bila dibandingkan dengan periode 1.58, 2.22 dan 2.54 detik.

4. Berdasarkan hasil percobaan, dapat disimpulkan bahwa sarat sistem konversi energi jenis OWC berpengaruh terhadap tekanan. Semakin besar sarat dari sistem, maka semakin kecil tekanan yang dihasilkan.
5. Tiap posisi sudut reflektor yang diaplikasikan pada model memberikan pengaruh yang cukup besar pada sistem OWC. Untuk penambahan sudut reflektor memberikan korelasi yang linear terhadap tekanan yang dihasilkan.

6.2. SARAN

Pada studi eksperimen pengaruh reflektor terhadap tekanan yang keluar dari orifice sistem konversi energi gelombang laut jenis Oscillating Water Column (OWC) ini, *range* variasi tiap parameter yang dimasukkan pada eksperimen masih cukup besar, tinggi gelombang di dalam OWC tidak dapat diukur, dan pengaruh permukaan model belum dapat dianalisa karena adanya keterbatasan waktu, pembuatan model dan kolam gelombang. Untuk memperoleh hasil yang lebih optimal diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui secara detil pengaruh tiap parameter terhadap tekanan yang dihasilkan..

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, 1996, *Studi Pemanfaatan Energi Gelombang Air Laut Untuk Listrik Tipe Taper Channel di Baron Yogyakarta*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS
- Boyle, G., (1996), *Renewable Energy : Power For A Sustainable Future*, Oxford University Press in Association with The Open University.
- Constant, J., (1979), *Marine Source of Energy*, Pergamon Press, New York
- Krock, H.J.(1980), *Ocean Energy Recovery*, Proceedings of The First International Conference ICOER'89, American Society Of Civil Engineers, 345 East 47th Street, New York, NY.
- McCormick, M.E., (1981), *Ocean Wave Energy Conversion*, John Wiley Sons, Inc, New York.
- Pratikto, W.A.dkk. 1996. *Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut*. Yogyakarta : BPFE
- Quinn, A.D, 1972. *Design and Construction of Port and Marine Structures*. New York : Mc Graw Hill Book Company.
- Ross, D., (1995), *Power From The Waves*, Oxford University Press.
- Sarpkaya and Isaacson, (1980), *Mechanics of Wave Force on Offshore Structures*, Van Nostrand Reinhold Company.
- Streeter and Wylie, 1990, *Mekanika Fluida: edisi delapan, alih bahasa Priyono*, Erlangga, Jakarta

- Suroso, A., (1997), *Studi Karakteristik Tekanan Udara Yang Keluar dari Orifice Sistem Konversi Energi Gelombang Laut*, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian ITS.
- Suroso, A., (2001), *Meningkatkan Daya Pada Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Jenis Cavity Resonator Dengan Memodifikasi Bentuk Tabung Silindernya*, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian ITS.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. **Teknik Pantai**. Yogyakarta : Beta Offset
- U.S.Army Corp Engineering.1984."Shore Protection Manual".Missisipi, 4th ed.Vol I.
- Widagdo, A.B., 1999, *Pengantar Model Hidraulik di Laboratorium*, Makalah Workshop Teknik Kelautan, LPTP – BPPT, Yogyakarta

LAMPIRAN A : TINGGI DAN PERIODA OMBAK DI SELURUH PERAIRAN INDONESIA

Sumber : Badan Meteorologi dan Geofisika - JAKARTA

NAMA PERAIRAN	1 9 8 7								1 9 8 8							
	Januari-April		Mei-Agustus		Sept. - Des.		Rata-rata		Januari-April		Mei-Agustus		Sept. - Des.		Rata-rata	
	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)
Sekitar Aceh	1.00	1.80	1.43	4.32	1.33	6.04	1.27	4.22	1.65	6.375	1.50	6.25	2.25	7.05	1.83	6.57
Selat Malaka	0.50	1.50	0.28	3.30	0.875	4.23	0.79	3.20	1.00	3.92	0.87	3.75	1.225	4.83	1.03	4.17
Laut Cina Selatan	1.23	2.27	1.70	5.95	2.07	6.27	1.67	4.83	1.93	5.83	1.82	6.04	2.23	7.05	2.21	6.33
Selat Kalimantan & Laut Jawa Bag. Barat	0.95	2.00	1.34	4.59	1.52	5.23	1.27	3.94	1.40	4.60	1.61	5.64	1.76	5.63	1.59	5.29
Laut Jawa Bag. Timur	1.15	2.20	1.52	4.77	1.44	5.32	1.37	4.12	1.35	5.25	1.51	5.33	1.50	5.58	1.49	5.39
Selat Makassar	0.50	1.50	1.03	3.10	1.06	5.56	0.88	3.33	1.50	5.70	1.14	5.37	1.53	6.29	1.41	5.73
Selat Sulawesi	0.80	1.80	1.27	4.55	1.07	5.04	1.05	3.80	1.44	6.00	1.15	5.50	1.51	6.25	1.40	5.92
Laut Banda dan Aru	1.45	2.45	2.94	7.10	1.64	6.16	2.01	5.24	1.95	6.00	2.76	7.93	1.58	6.29	2.13	6.71
Laut Arafuru	2.33	3.33	4.08	6.55	1.98	6.125	2.79	6.00	2.05	6.25	3.43	5.70	2.50	6.50	2.71	7.15
Laut Flores	1.68	2.59	1.57	4.55	1.17	5.29	1.47	4.14	1.45	5.41	1.73	5.05	1.53	5.63	1.59	5.70
Laut Sawu	1.50	2.50	1.71	5.75	1.90	5.72	1.67	4.66	1.28	5.78	1.98	6.98	1.55	6.29	1.63	6.34
Laut Timor	1.50	2.50	2.19	5.77	2.02	6.83	1.90	5.03	1.95	6.83	2.59	7.67	2.03	6.92	2.19	7.14
Samudra Hindia	1.50	2.50	2.19	5.77	2.02	6.83	1.90	5.03	1.95	6.83	2.59	7.67	2.03	6.92	2.19	7.14
Perairan Sekitar Mentawai (Selat Mentawai)	0.50	1.50	0.68	1.16	1.15	5.04	0.77	2.57	1.18	5.40	0.89	4.54	1.375	5.75	1.15	5.23
Rian Utara 1)	1.18	4.31	1.03	3.33	1.13	4.82	1.11	4.82	1.50	6.25	1.25	5.50	—	—	1.28	5.82
Halmahera 2)	0.75	1.75	1.52	5.17	1.21	5.33	1.16	4.03	1.25	5.5	0.97	5.2	1.22	5.23	1.13	5.33

Keterangan :

LAMPIRAN B

HASIL PENGUKURAN TINGGI DAN PERIODE SIGNIFIKAN OMBAK
SELAMA PERIODE PENGUKURAN 12-10-1991 SAMPAI 25-12-1991

Hari ke	Tinggi Signifikan (m)	Periode Spektral (s)
1	1,22	7,95
2	1,32	7,86
3	1,79	7,79
4	1,40	7,28
5	1,32	7,34
6	1,36	7,04
7	1,11	6,96
8	1,13	7,20
9	1,55	7,02
10	1,94	6,24
11	1,78	8,32
12	1,84	8,23
13	1,92	7,50
14	1,14	6,73
15	1,70	7,00
16	1,36	7,01
17	1,31	7,02
18	1,45	7,68
19	1,31	8,16
20	0,00	0,00
21	1,11	11,83
22	1,73	6,03
23	0,82	9,33
24	1,44	7,43
25	1,48	6,56
26	1,27	7,63
27	2,07	7,68
28	1,72	5,87
29	1,50	5,95
30	1,42	7,63
31	1,29	7,03
32	1,16	5,94
33	1,32	6,09
34	1,85	8,06
35	2,20	7,69
36	2,20	7,22
37	1,89	6,81

Hari ke	Tinggi Signifikan (m)	Periode Spektral (s)
38	2,03	8,38
39	1,93	8,09
40	1,66	8,04
41	1,32	6,45
42	1,10	5,65
43	1,07	6,48
44	1,18	7,03
45	1,52	6,69
46	1,84	6,57
47	1,93	6,92
48	1,58	6,73
49	1,58	7,15
50	1,51	7,72
51	1,13	6,79
52	1,26	6,16
53	1,70	8,35
54	2,14	7,73
55	1,66	7,52
56	1,55	6,53
57	1,95	7,40
58	2,01	6,96
59	1,69	7,68
60	1,56	7,66
61	1,42	7,39
62	1,08	6,87
63	0,87	6,26
64	1,04	7,90
65	1,53	6,79
66	1,59	7,31
67	1,72	7,58
68	1,47	6,75
69	1,26	6,83
70	2,05	8,54
71	1,80	7,85
72	1,84	7,31
73	1,71	6,90
74	1,38	7,81
75	1,07	7,37
	117,30	539,25

$$H_{rata-rata} = \frac{117,30}{75} = 1,564 \text{ m}$$

$$T_{rata-rata} = \frac{539,25}{75} = 7,195 \text{ s}$$

TINGGI GELOMBANG DIPERAIRAN SEMPIT

SUMBER - BPPT JAKARTA

- Toli-toli : waktu pengukuran Feb - Maret 1990
 $H_{\max} = 15 \text{ cm}$
- Selat Madura : waktu pengukuran 4 Agustus - 5 September 1985
 $H_{\square} = 32,5 \text{ cm}$
 $T_{\square} = 3,75 \text{ s}$
- Teluk Lampung : waktu pengukuran 10 Juli - 9 Agustus 1987
 - P. Masten
 $H_{\square} = 44 \text{ cm}$
 $H_{\max} = 60 \text{ cm}$
 - P. Tegal
 $H_{\square} = 17 \text{ cm}$
 $H_{\max} = 17 \text{ cm}$
- Teluk Rantai : waktu pengukuran 31 Mei - 30 Sept. 1987
 $H_{\square} = 66 \text{ cm}$
 $H_{\max} = 90 \text{ cm}$

DATA HASIL PERCOBAAN

Sarat 70 cm

Sudut reflektor 15 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	1.80	0.90	1.60	0.80	1.40	0.70	1.40	0.70	1.00	0.50
0.075	3.20	1.60	2.60	1.30	1.80	0.90	2.40	1.20	1.80	0.90
0.1	4.20	2.10	3.60	1.80	2.60	1.30	3.20	1.60	2.60	1.30
0.125	4.80	2.40	4.60	2.30	3.20	1.60	3.60	1.80	3.20	1.60
0.15	5.60	2.80	5.60	2.80	3.80	1.90	4.60	2.30	4.20	2.10

Sarat 60 cm

20

Sudut reflektor 15 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.20	1.10	1.80	0.90	1.40	0.70	1.80	0.90	1.20	0.60
0.075	3.20	1.60	2.80	1.40	2.00	1.00	2.40	1.20	1.80	0.90
0.1	4.20	2.10	3.60	1.80	2.40	1.20	3.20	1.60	2.20	1.10
0.125	5.20	2.60	5.20	2.60	3.20	1.60	3.40	1.70	3.60	1.80
0.15	4.20	2.10	4.20	2.10	3.40	1.70	4.00	2.00	4.20	2.10

Sarat 50 cm

30

Sudut reflektor 15 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.20	1.1	2.00	1	1.80	0.90	2.00	1.00	1.40	0.70
0.075	3.20	1.60	3.20	1.60	2.40	1.20	2.80	1.40	2.20	1.10
0.1	4.40	2.20	4.60	2.30	2.80	1.40	3.60	1.80	3.20	1.60
0.125	5.60	2.80	5.60	2.80	3.40	1.70	4.20	2.10	3.60	1.80
0.15	6.80	3.40	7.20	3.60	4.80	2.40	4.80	2.40	4.60	2.30



Sarat 70 cm

Sudut reflektor 30 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.20	1.10	1.80	0.90	1.60	0.80	1.60	0.80	1.20	0.60
0.075	3.20	1.60	2.60	1.30	2.40	1.20	2.40	1.20	2.00	1.00
0.1	4.20	2.10	3.80	1.90	3.20	1.60	3.40	1.70	2.80	1.40
0.125	5.40	2.70	4.60	2.30	3.40	1.70	4.00	2.00	3.20	1.60
0.15	5.00	2.50	6.40	3.20	4.00	2.00	5.00	2.50	4.20	2.10

Sarat 60 cm

Sudut reflektor 30 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.40	1.20	1.80	0.90	1.80	0.90	2.00	1.00	1.40	0.70
0.075	3.40	1.70	3.00	1.50	2.40	1.20	2.80	1.40	2.20	1.10
0.1	4.40	2.20	4.00	2.00	3.00	1.50	3.40	1.70	3.00	1.50
0.125	5.20	2.60	5.60	2.80	3.40	1.70	3.80	1.90	3.80	1.90
0.15	6.60	3.30	6.40	3.20	4.20	2.10	4.60	2.30	4.60	2.30

Sarat 50 cm

Sudut reflektor 30 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.20	1.10	2.00	1.00	1.80	0.90	1.80	0.90	1.40	0.70
0.075	3.60	1.80	3.40	1.70	2.60	1.30	3.20	1.60	2.40	1.20
0.1	4.60	2.30	4.40	2.20	4.00	2.00	3.60	1.80	3.80	1.90
0.125	5.60	2.80	5.20	2.60	4.00	2.00	4.60	2.30	4.20	2.10
0.15	6.40	3.20	6.60	3.30	4.80	2.40	5.80	2.90	5.20	2.60

Sarat 70 cm
Sudut reflektor 45 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.40	1.20	2.00	1.00	1.60	0.80	1.60	0.80	1.20	0.60
0.075	3.20	1.60	3.00	1.50	2.40	1.20	2.60	1.30	1.60	0.80
0.1	4.40	2.20	3.80	1.90	3.00	1.50	3.20	1.60	2.80	1.40
0.125	5.40	2.70	5.20	2.60	3.60	1.80	3.80	1.90	3.60	1.80
0.15	7.20	3.60	6.20	3.10	4.20	2.10	4.80	2.40	4.20	2.10

Sarat 60 cm
Sudut reflektor 45 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.60	1.30	2.20	1.10	1.60	0.80	1.80	0.90	1.20	0.60
0.075	3.40	1.70	3.20	1.60	2.40	1.20	2.80	1.40	2.00	1.00
0.1	4.40	2.20	4.20	2.10	3.20	1.60	3.40	1.70	2.80	1.40
0.125	5.60	2.80	5.20	2.60	3.60	1.80	4.00	2.00	3.80	1.90
0.15	7.00	3.50	6.80	3.40	4.40	2.20	4.40	2.20	4.80	2.40

Sarat 50 cm
Sudut reflektor 45 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mmBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.40	1.20	2.00	1.00	1.80	0.90	2.20	1.10	1.60	0.80
0.075	3.40	1.70	3.40	1.70	2.80	1.40	3.20	1.60	2.60	1.30
0.1	4.40	2.20	4.00	2.00	3.40	1.70	3.80	1.90	3.20	1.60
0.125	5.80	2.90	5.80	2.90	3.60	1.80	4.60	2.30	3.80	1.90
0.15	7.20	3.60	7.60	3.80	4.80	2.40	5.00	2.50	4.20	2.10

Sarat 70 cm

Sudut reflektor 60 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.20	1.10	2.00	1.00	1.60	0.80	1.60	0.80	1.20	0.60
0.075	3.40	1.70	3.00	1.50	2.40	1.20	2.60	1.30	1.80	0.90
0.1	4.00	2.00	3.80	1.90	3.00	1.50	3.40	1.70	3.00	1.50
0.125	5.20	2.60	5.20	2.60	3.60	1.80	4.00	2.00	3.60	1.80
0.15	7.00	3.50	6.20	3.10	4.00	2.00	4.80	2.40	4.20	2.10

Sarat 60 cm

Sudut reflektor 60 derajat

Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.60	1.30	2.00	1.00	1.80	0.90	2.00	1.00	1.40	0.70
0.075	3.40	1.70	3.20	1.60	2.40	1.20	2.80	1.40	2.20	1.10
0.1	4.40	2.20	4.00	2.00	3.20	1.60	3.60	1.80	3.00	1.50
0.125	5.80	2.90	5.60	2.80	3.40	1.70	3.80	1.90	3.20	1.60
0.15	6.20	3.10	6.60	3.30	4.80	2.40	5.60	2.80	4.80	2.40

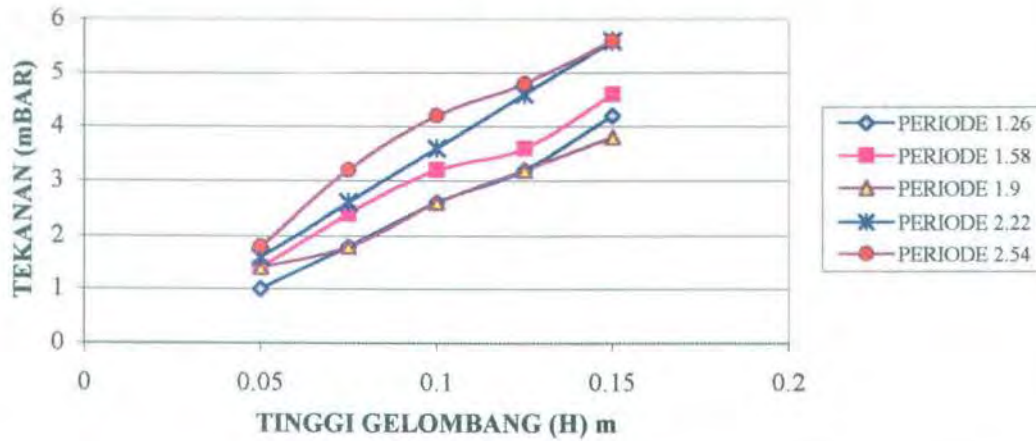
Sarat 50 cm

Sudut reflektor 60 derajat

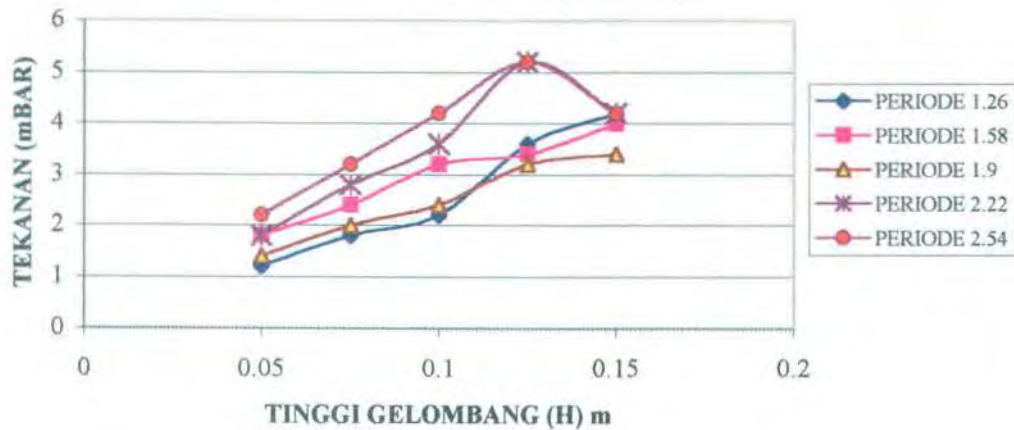
Tinggi Gelombang (m)	Tekanan yang terjadi (mBar) dan perubahan Tinggi Air dalam selang U (cm) pada tiap periode percobaan (detik)									
	2.54		2.22		1.9		1.58		1.26	
	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm	mBar	cm
0.05	2.40	1.20	2.00	1.00	1.80	0.90	2.20	1.10	1.40	0.70
0.075	3.40	1.70	3.20	1.60	2.80	1.40	3.00	1.50	2.40	1.20
0.1	4.40	2.20	4.20	2.10	3.20	1.60	3.60	1.80	3.40	1.70
0.125	5.60	2.80	5.20	2.60	3.60	1.80	4.00	2.00	4.40	2.20
0.15	6.40	3.20	7.20	3.60	5.00	2.50	4.60	2.30	5.00	2.50

HUBUNGAN TINGGI GELOMBANG (H) TERHADAP TEKANAN

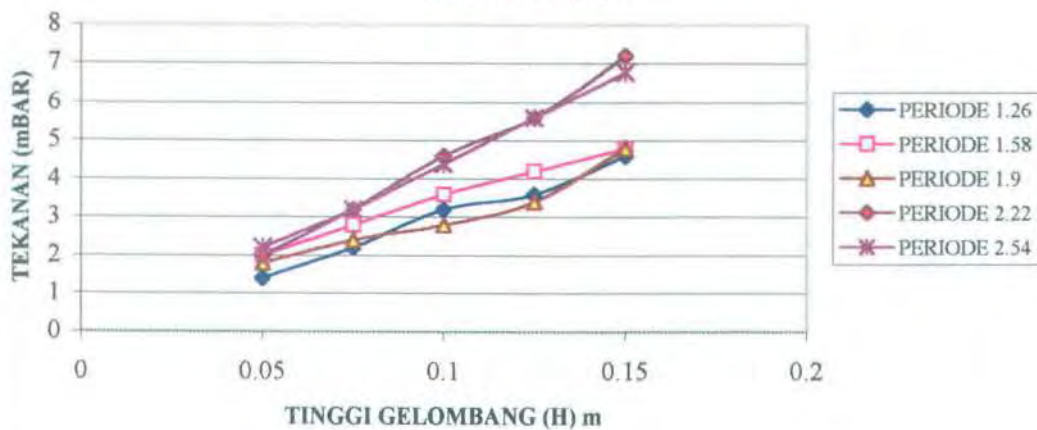
Hubungan Tinggi Gelombang terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan sudut reflektor 15 derajat



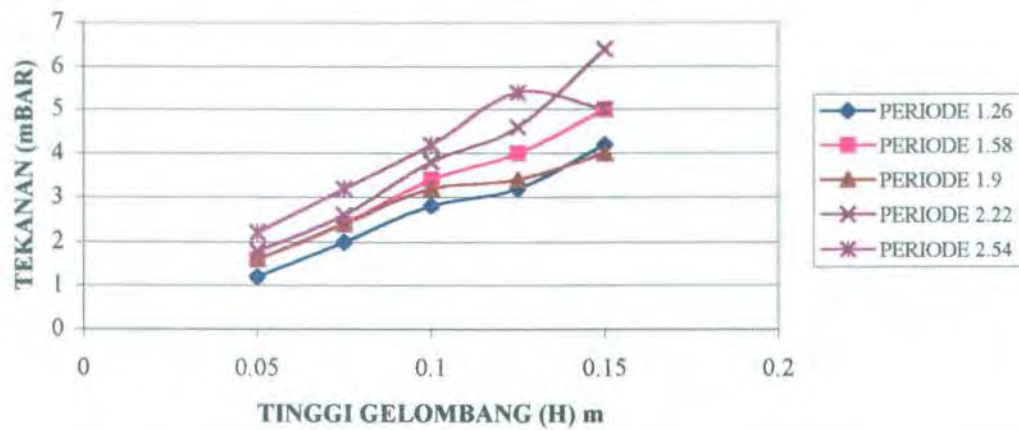
Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Sudut Reflektor 15 Derajat



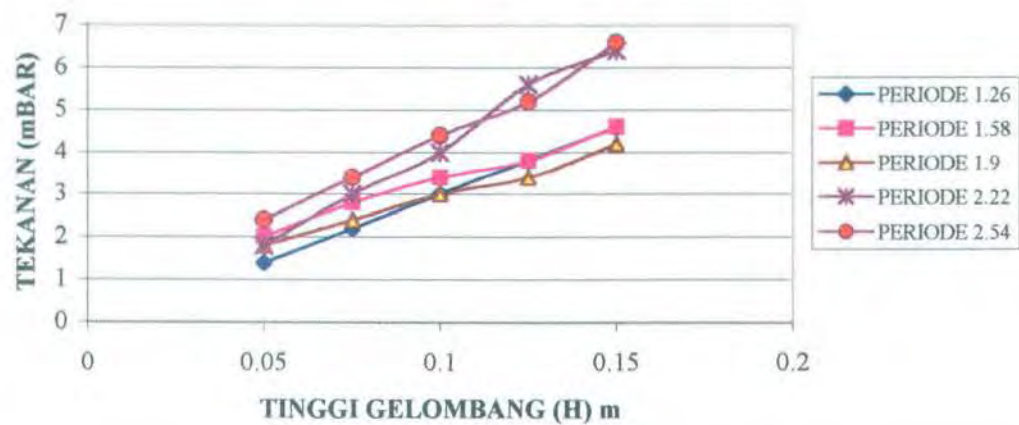
Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Sudut Reflektor 15 derajat



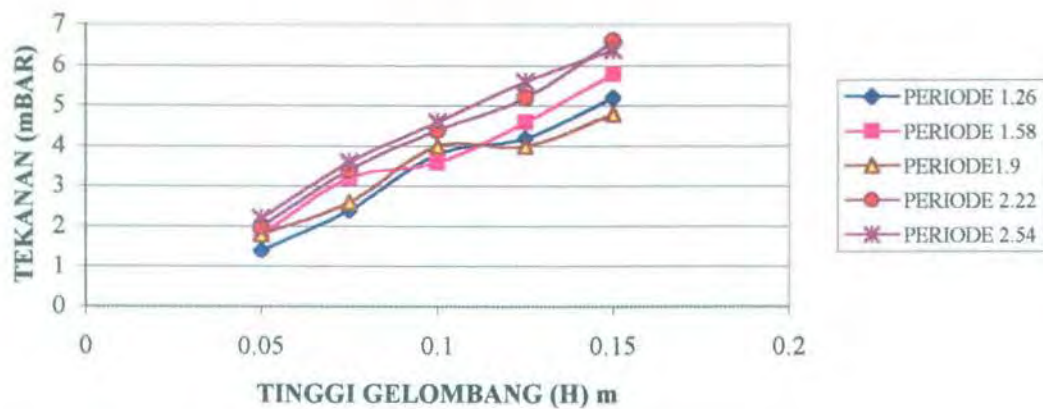
Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Sudut Reflektor 30 Derajat



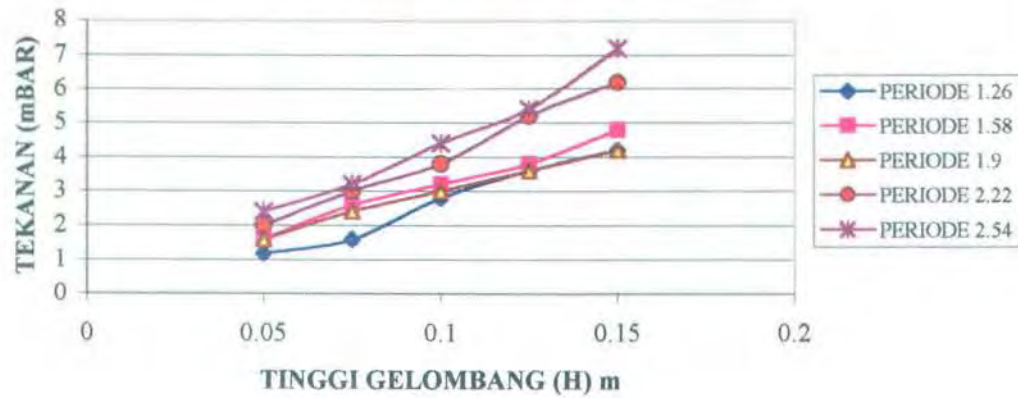
Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Sudut Reflektor 30 Derajat



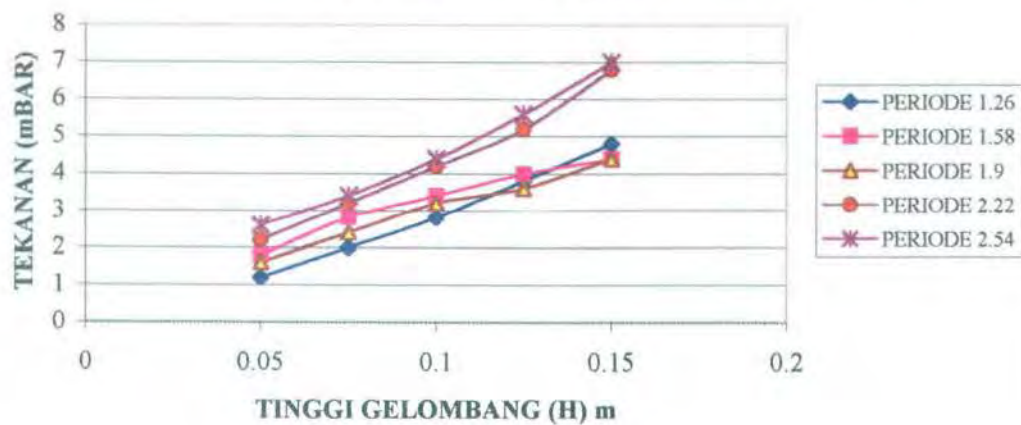
Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Sudut Reflektor 30 Derajat



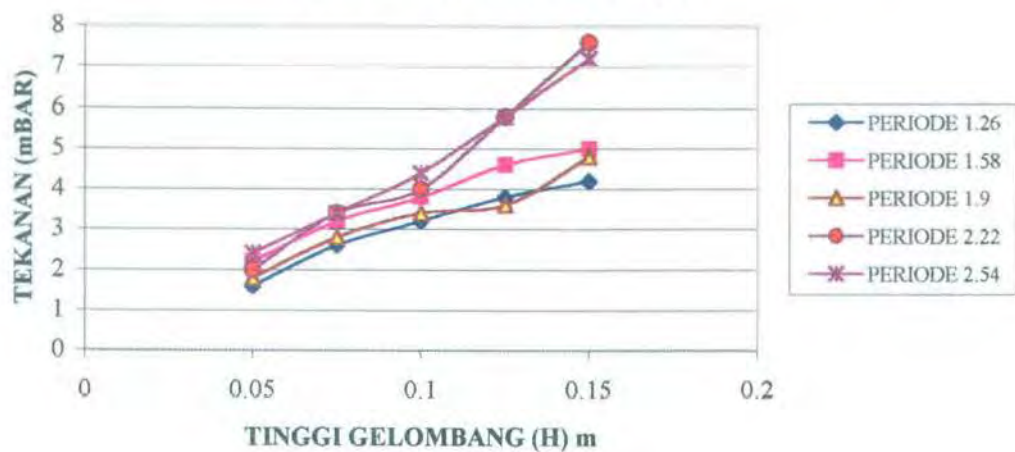
Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Sudut Reflektor 45 Derajat



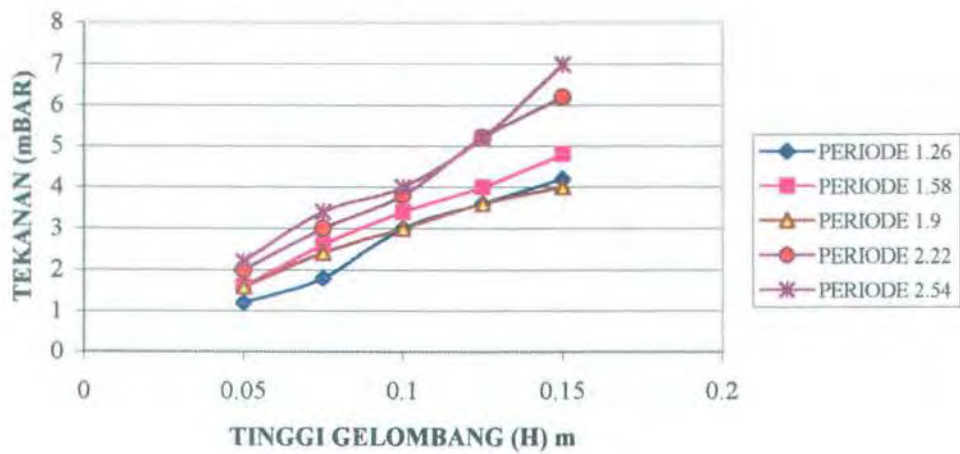
Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Sudut Reflektor 45 Derajat



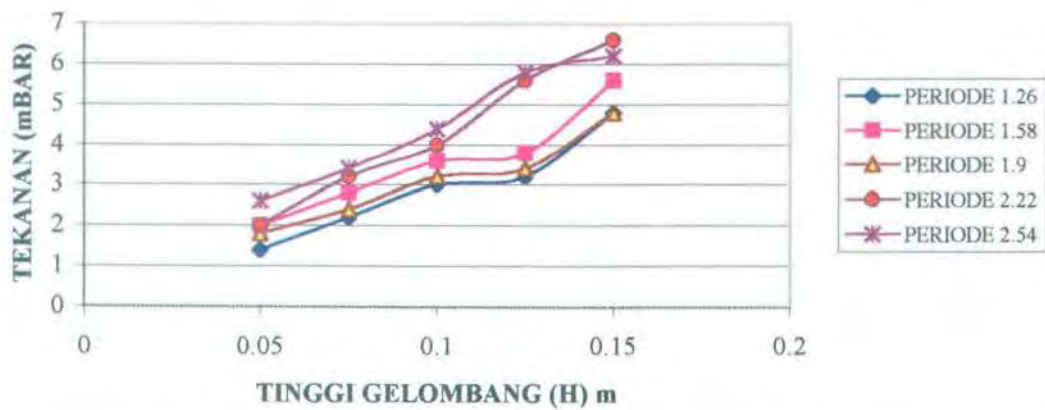
Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Posisi Sudut Reflektor 45 Derajat



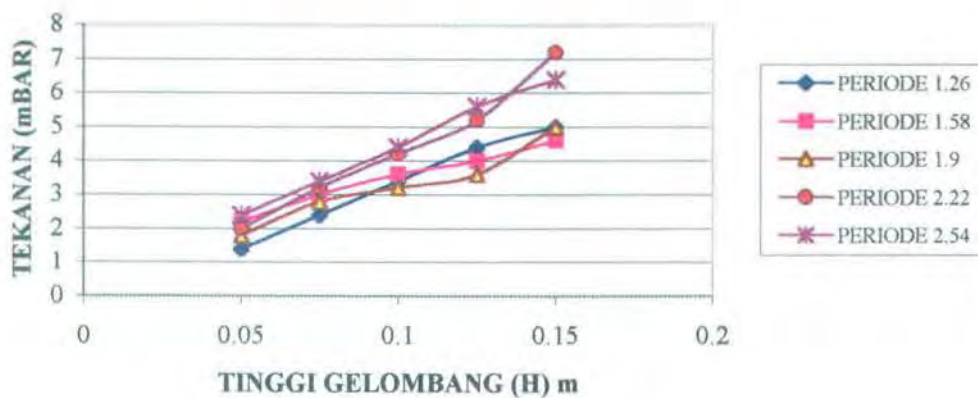
Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Sudut Reflektor 60 Derajat



Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Sudut Reflektor 60 Derajat

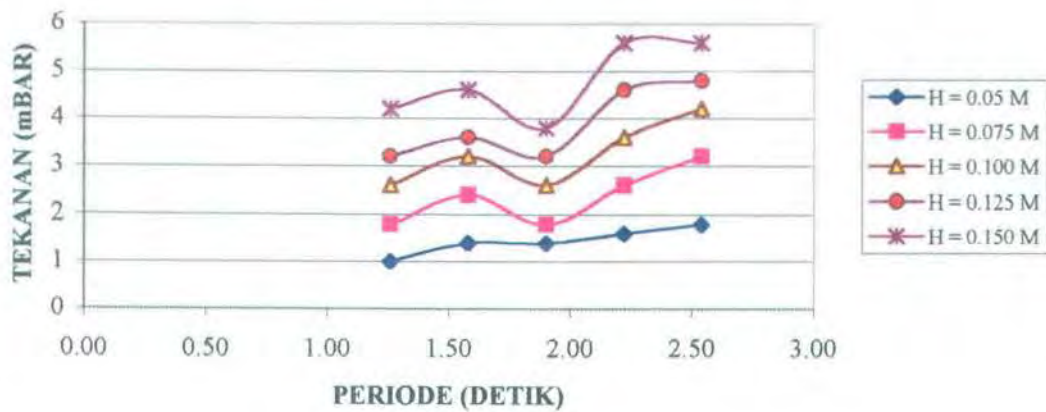


Hubungan Tinggi Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Posisi Sudut Reflektor 60 Derajat

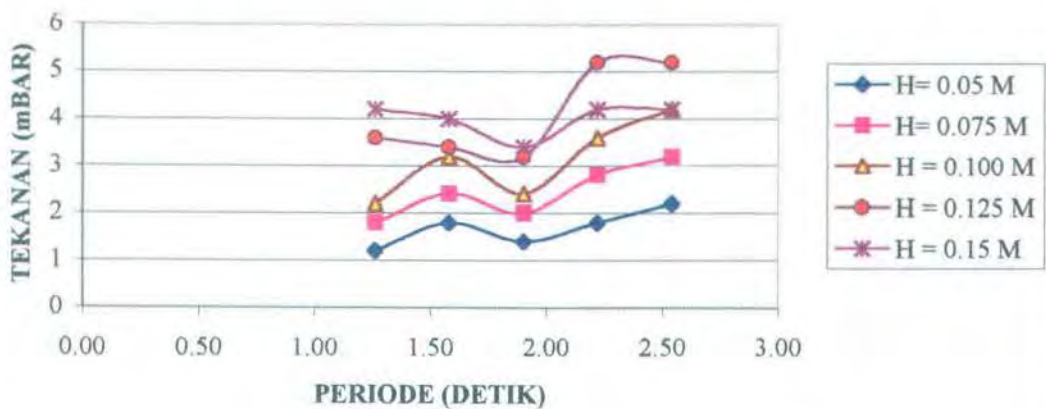


HUBUNGAN PERIODE GELOMBANG (T) TERHADAP TEKANAN

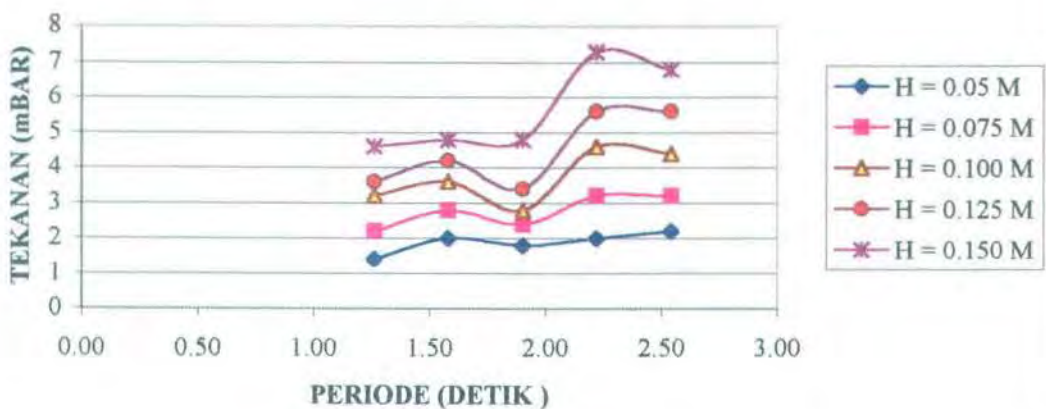
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Sudut Reflektor 15 Derajat



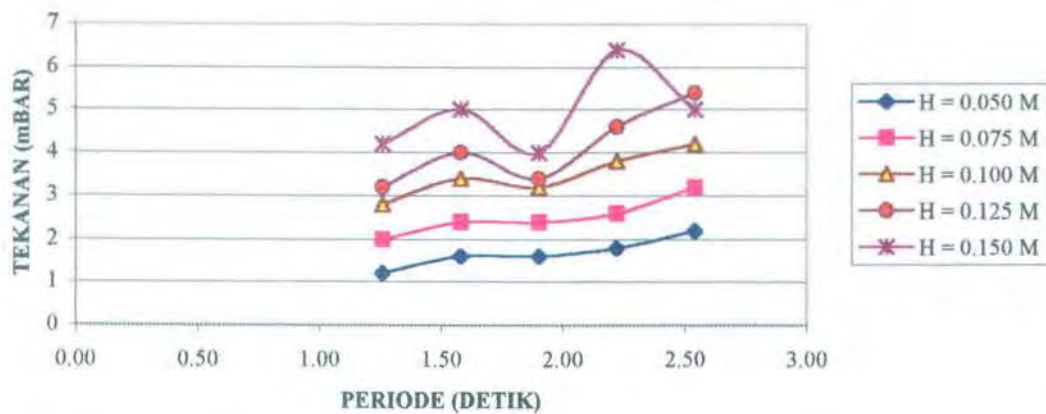
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Sudut Reflektor 15 Derajat



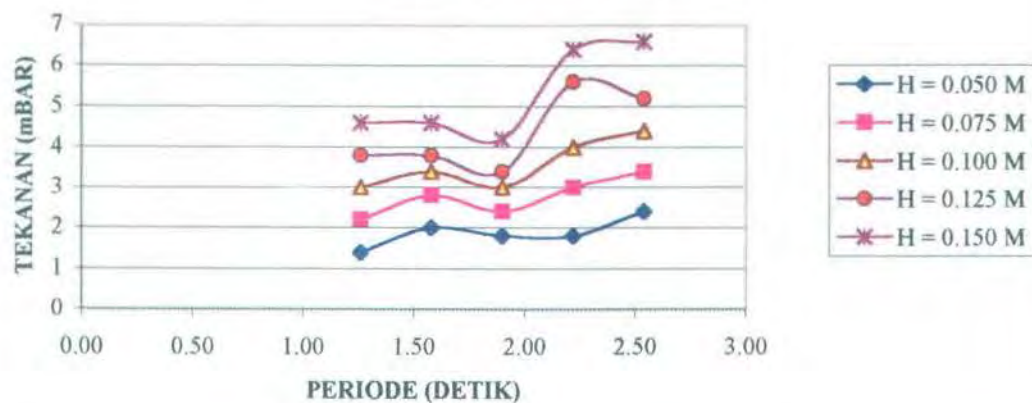
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Sudut Reflektor 15 Derajat



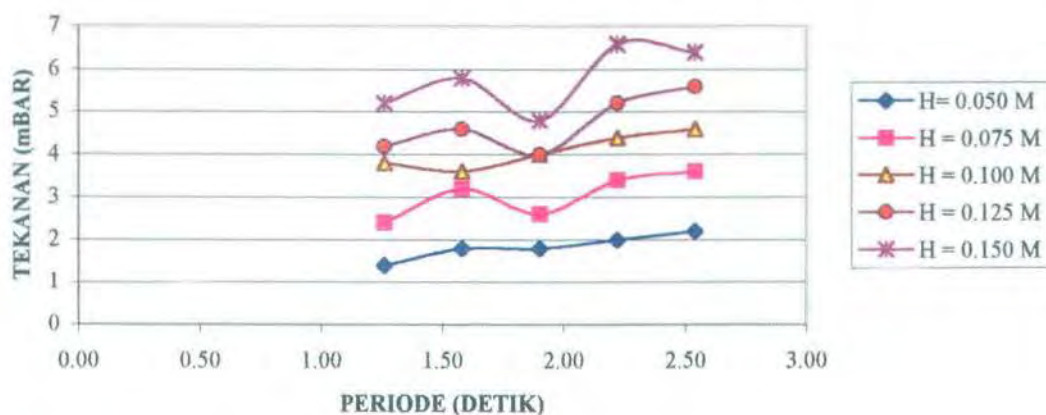
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Sudut Reflektor 30 Derajat



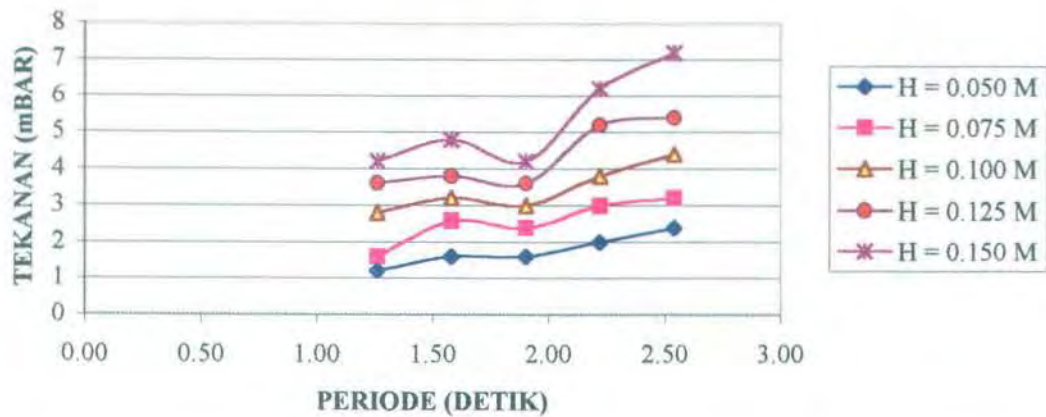
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 dan Sudut Reflektor 30 Derajat



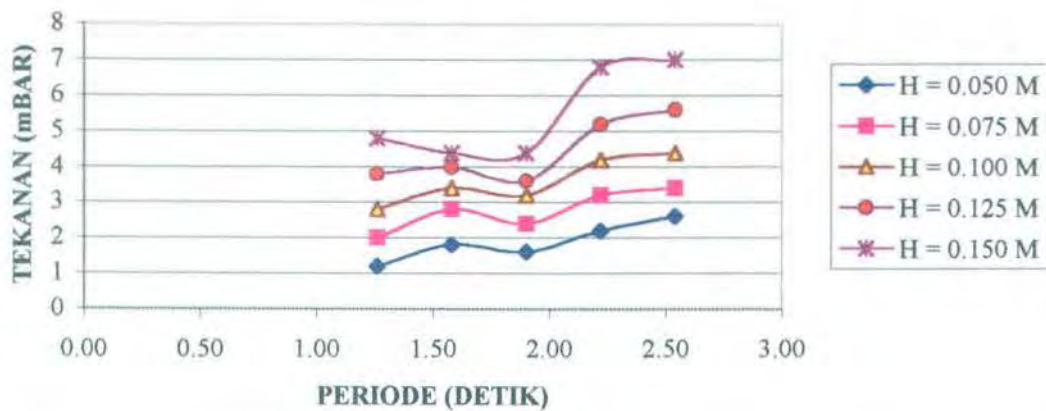
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 dan Sudut Reflektor 30 Derajat



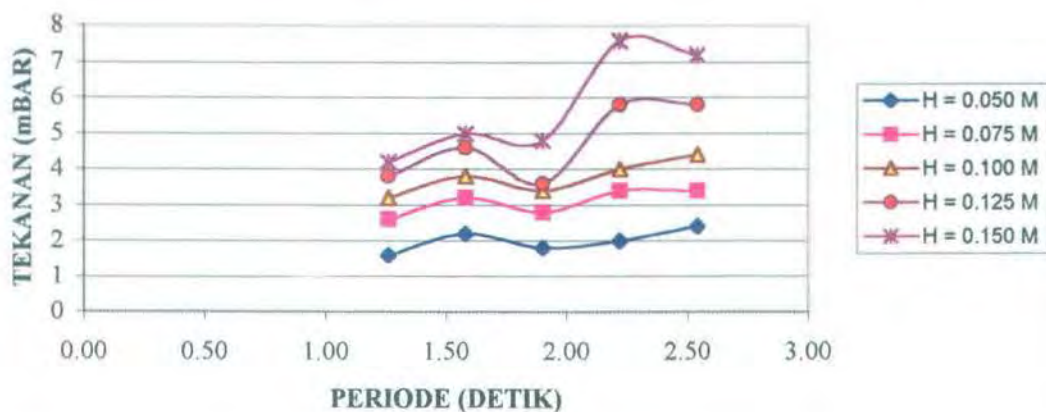
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 dan Sudut Reflektor 45 Derajat



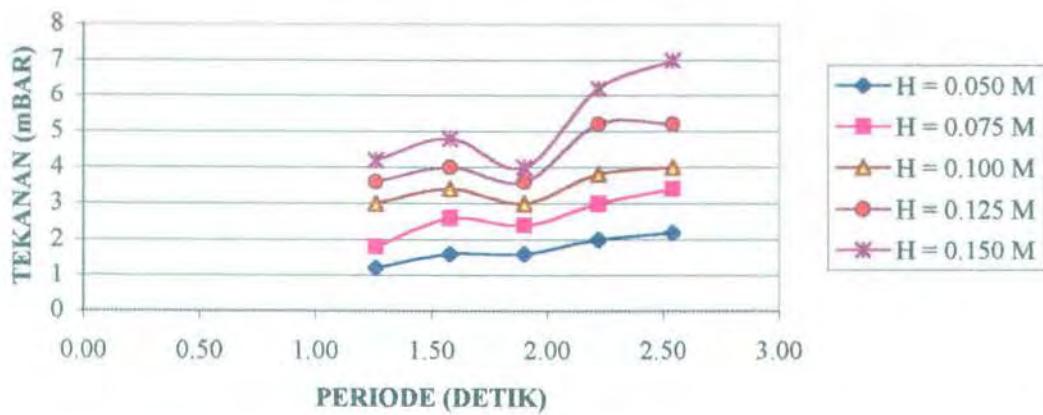
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 dan Sudut Reflektor 45 Derajat



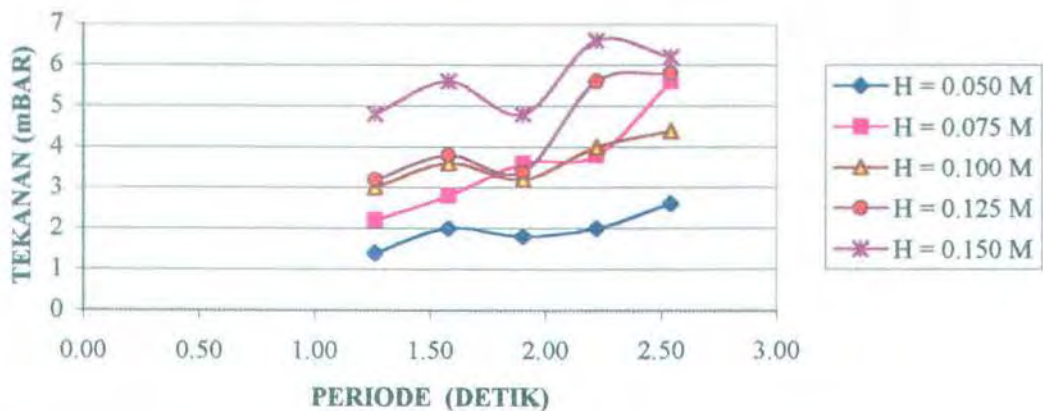
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Sudut Reflektor 45 Derajat



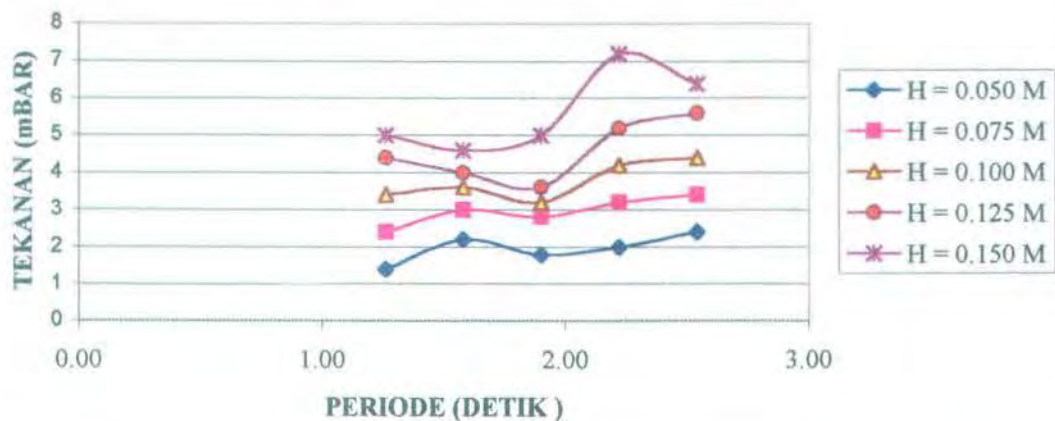
Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 Sudut dan Reflektor 60 Derajat



Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Sudut Reflektor 60 Derajat

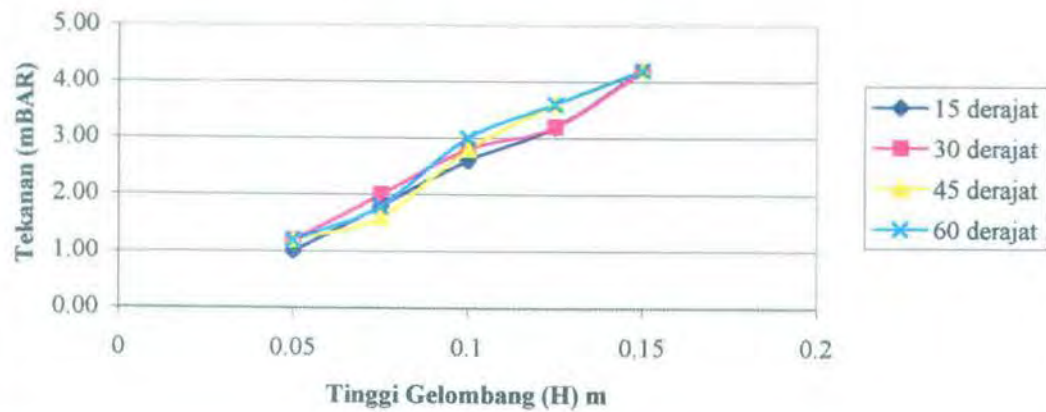


Hubungan Periode Gelombang Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Sudut Reflektor 60 Derajat

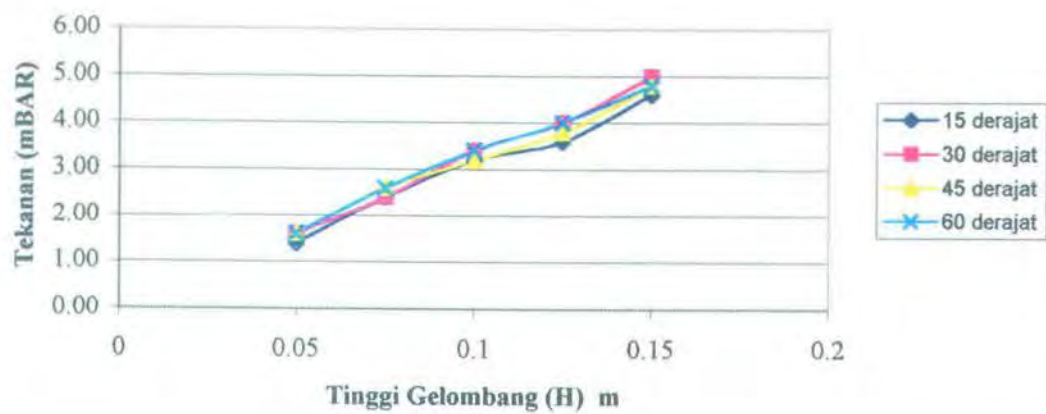


PENGARUH SUDUT REFLEKTOR TERHADAP TEKANAN

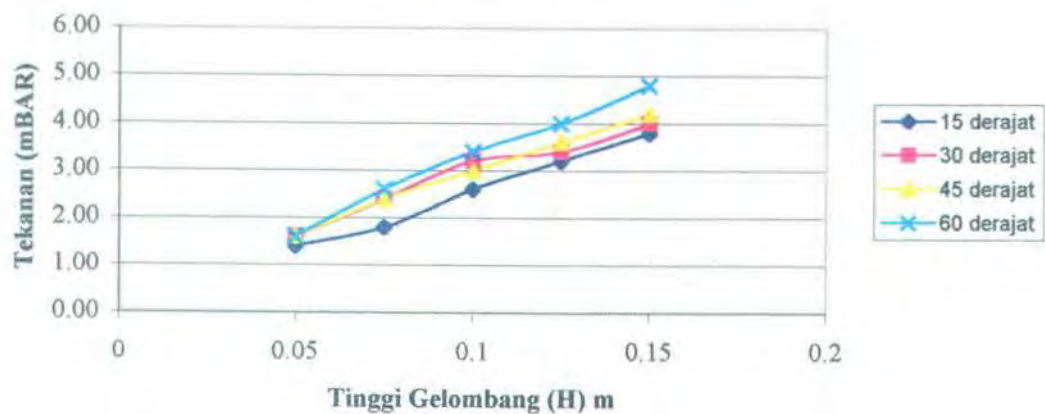
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Periode Gelombang 1.26 Detik



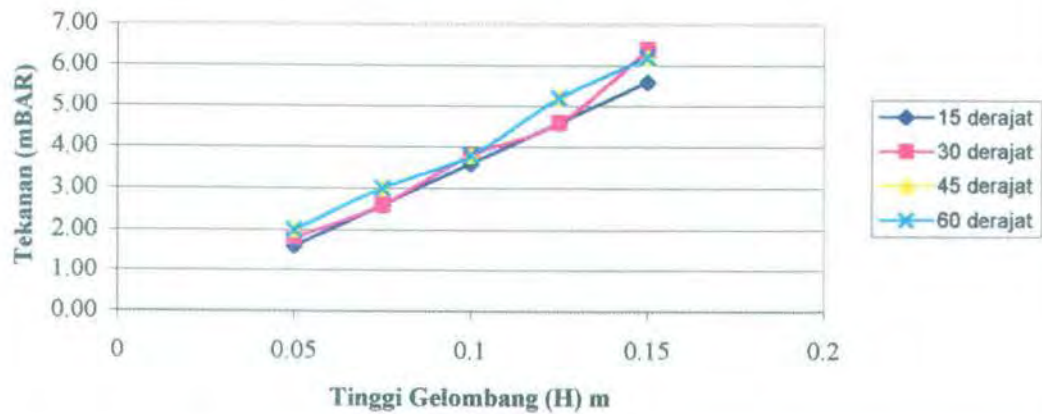
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Periode Gelombang 1.58 detik



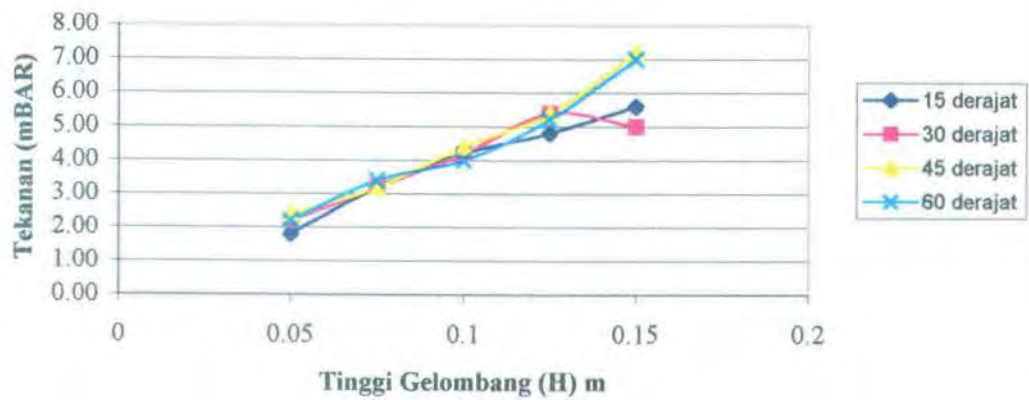
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Periode Gelombang 1.9 detik



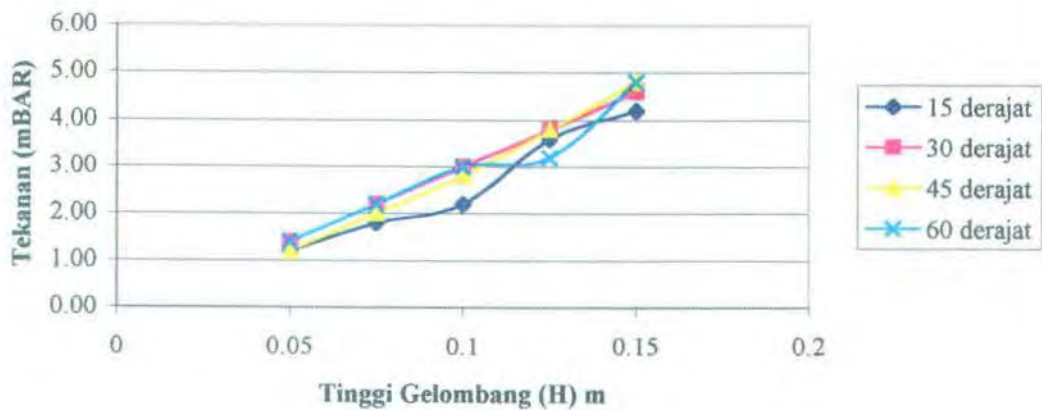
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Periode Gelombang 2.22 detik



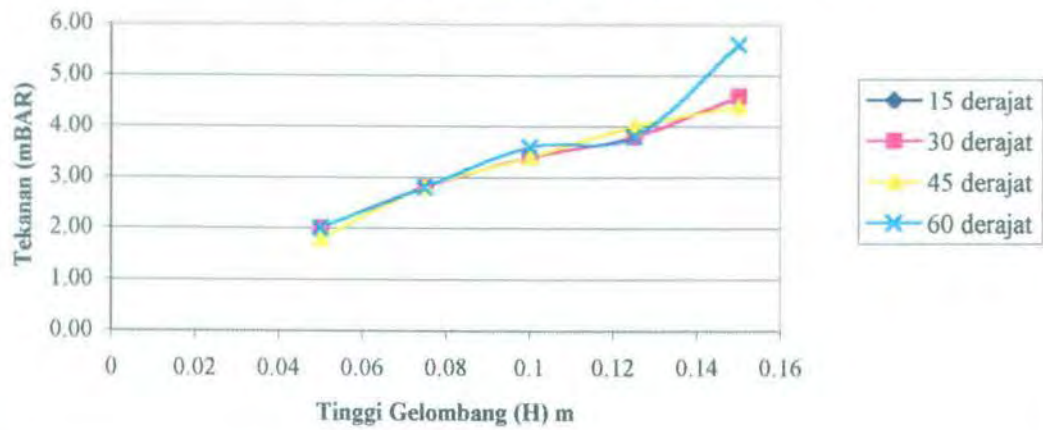
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 70 cm dan Periode Gelombang 2.54 detik



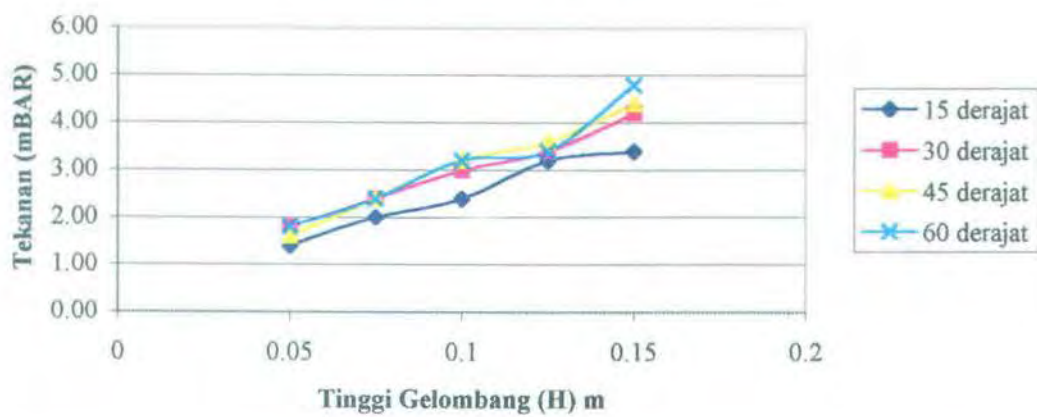
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Periode Gelombang 1.26 Detik



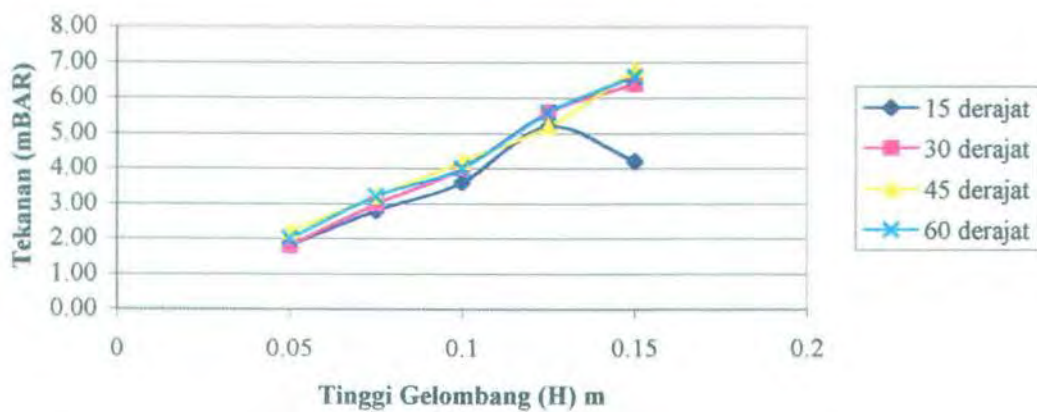
Pengaruh Sudut Reflektor terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Periode Gelombang 1.58 Detik



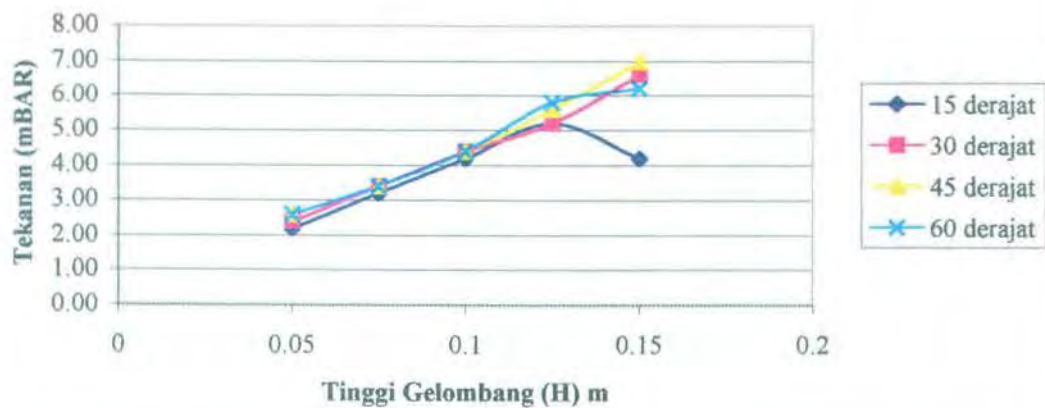
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Periode Gelombang 1.9 Detik



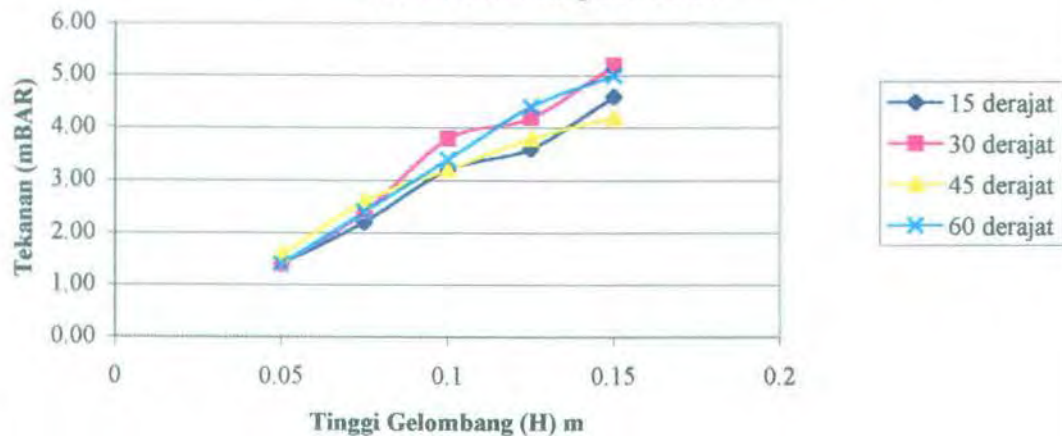
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Periode Gelombang 2.22 Detik



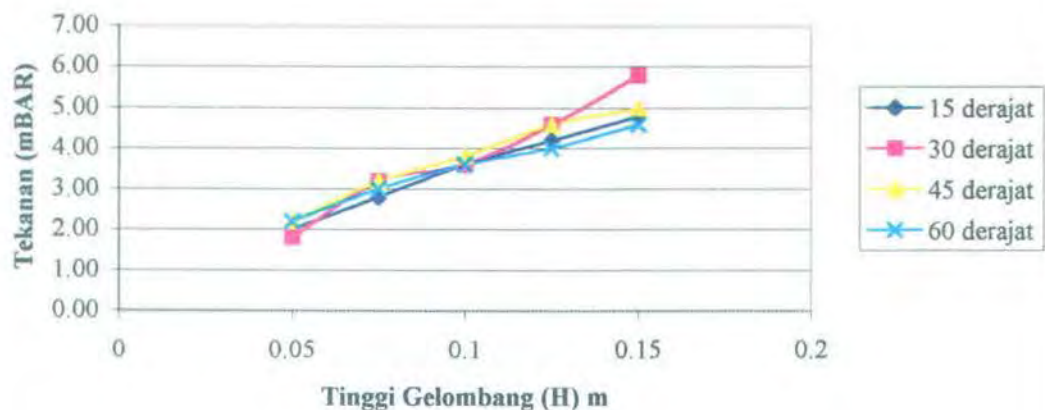
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 60 cm dan Periode Gelombang 2.54 Detik



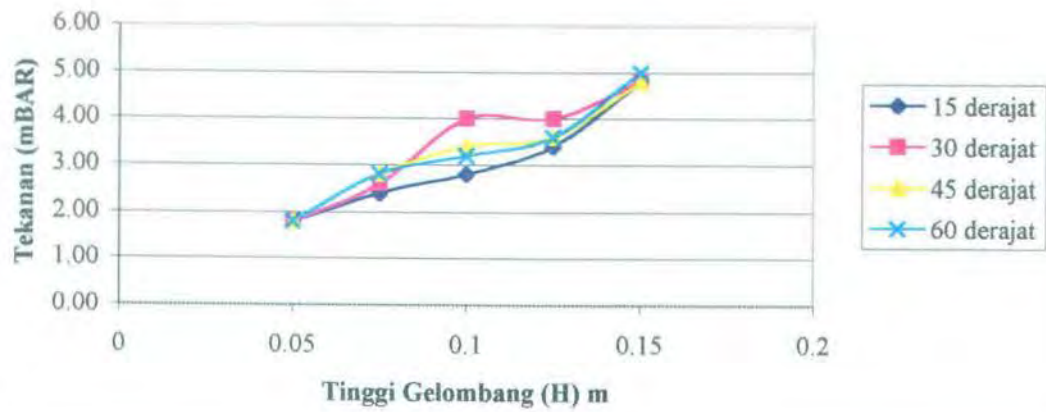
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Periode Gelombang 1.26 Detik



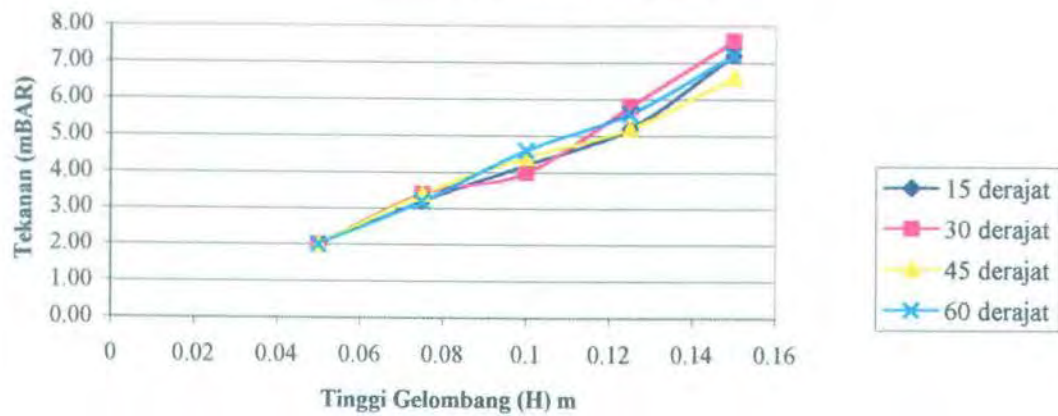
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Periode Gelombang 1.58 Detik



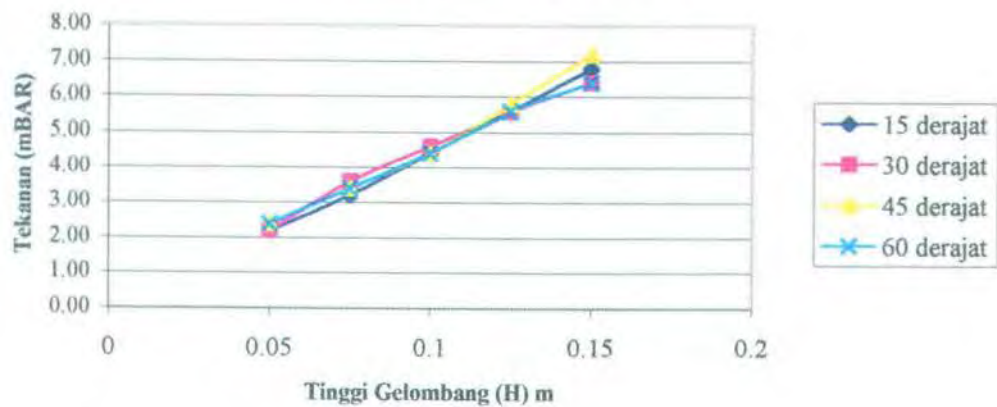
Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Periode Gelombang 1.9 Detik



Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Periode Gelombang 2.22 Detik

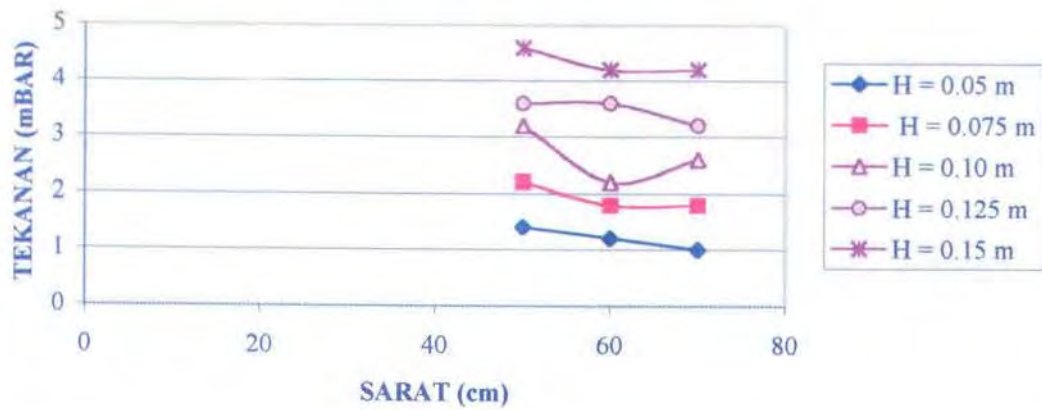


Pengaruh Sudut Reflektor Terhadap Tekanan Pada Sarat 50 cm dan Periode Gelombang 2.54 Detik

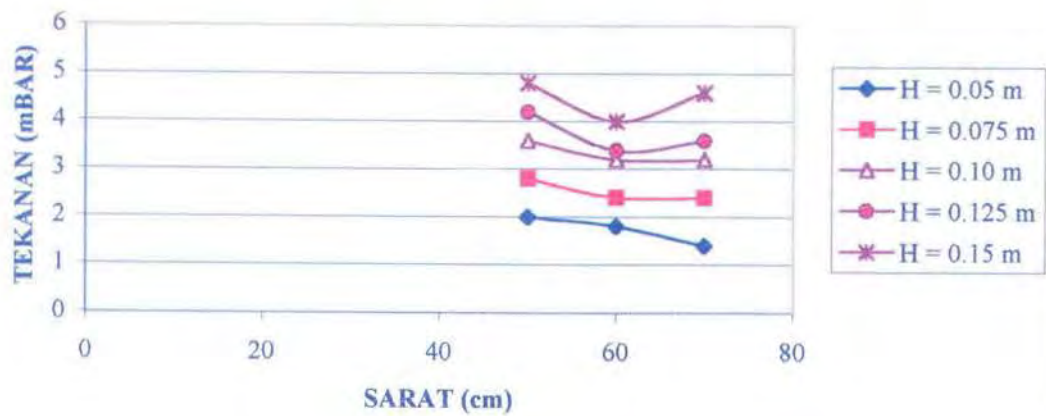


PENGARUH SARAT TERHADAP TEKANAN

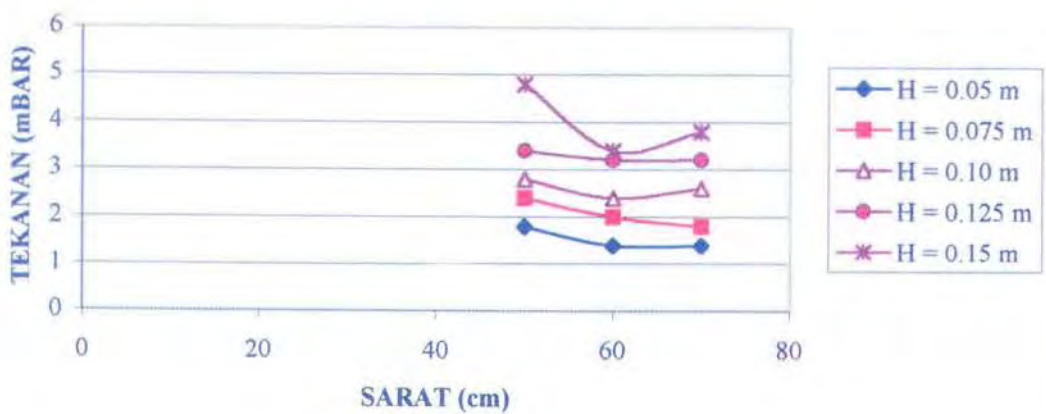
**Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.26 detik
dan Sudut Reflektor 15 Derajat**



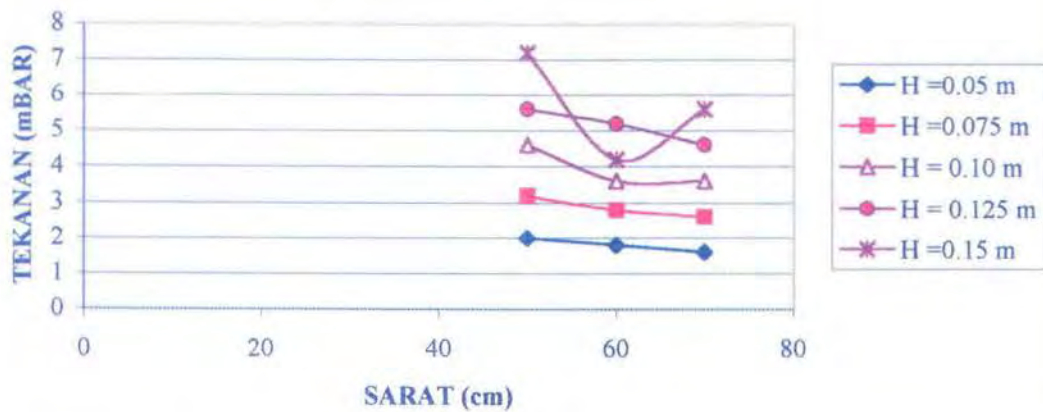
**Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.58 Detik
dan Sudut Reflektor 15 Derajat**



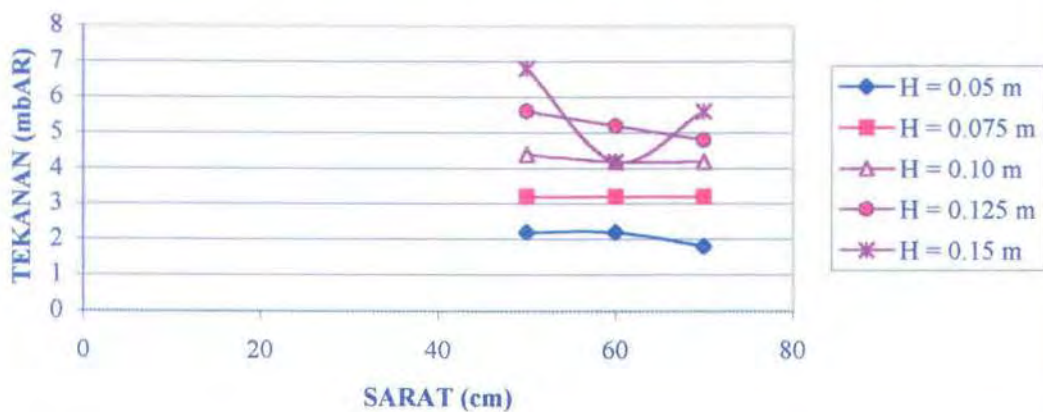
**Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.9 Detik
dan Sudut Reflektor 15 Derajat**



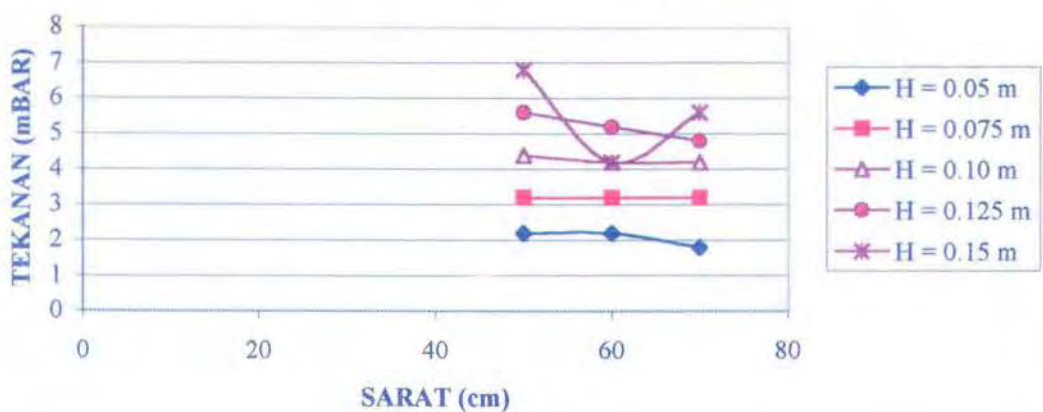
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 2.22 detik
dan Sudut Reflektor 15 Derajat



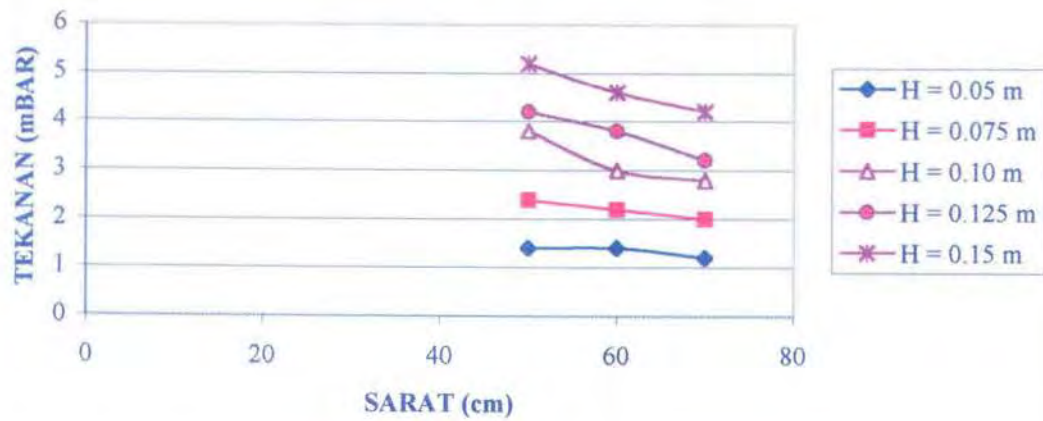
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 2.54 detik
dan Sudut Reflektor 15 Derajat



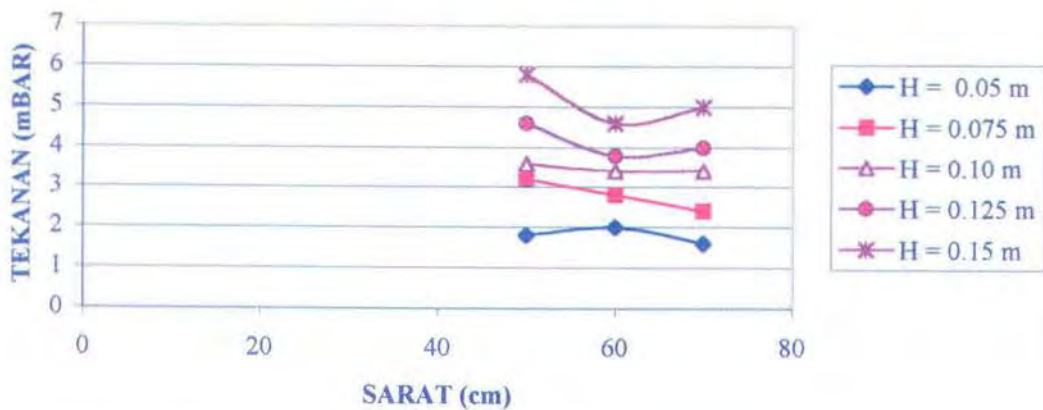
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 2.54 detik
dan Sudut Reflektor 15 Derajat



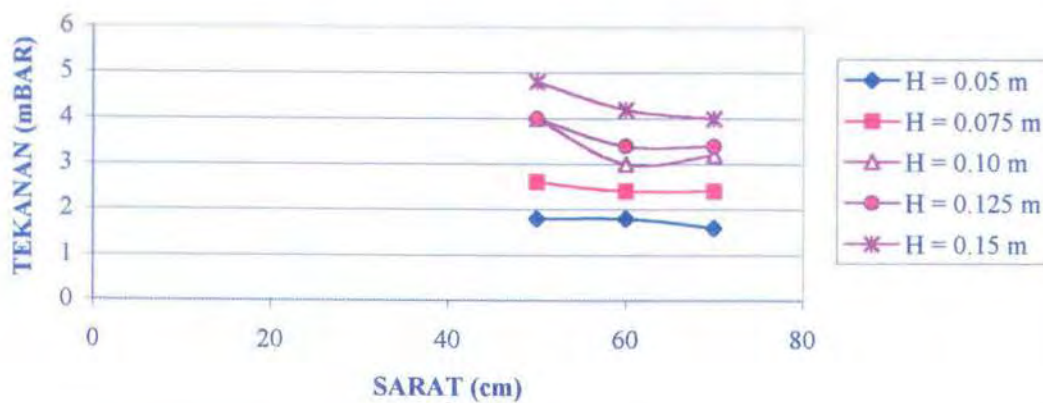
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.26 detik
dan Sudut Reflektor 30 Derajat



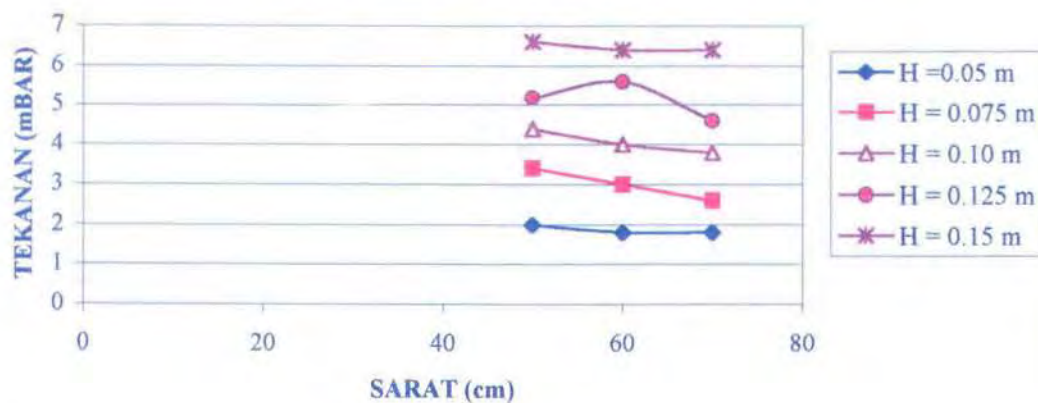
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.58 detik
dan Sudut Reflektor 30 Derajat



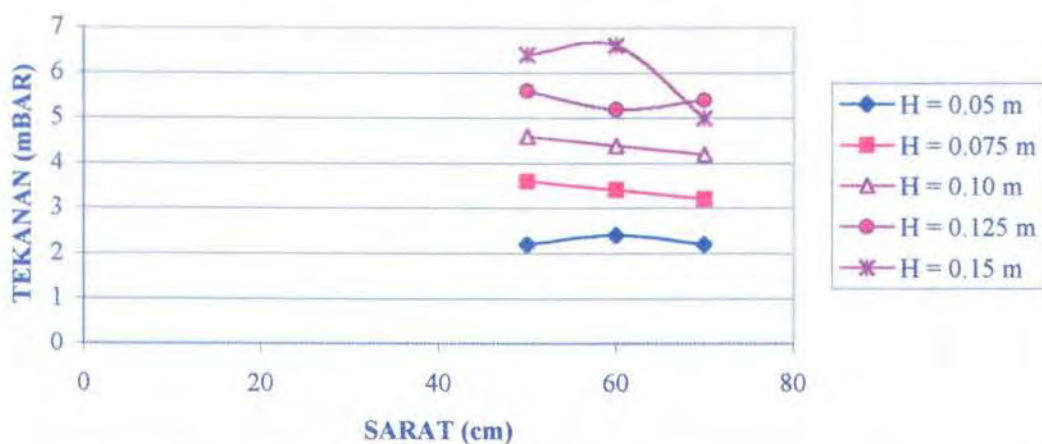
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.9 Detik
dan Sudut Reflektor 30 Derajat



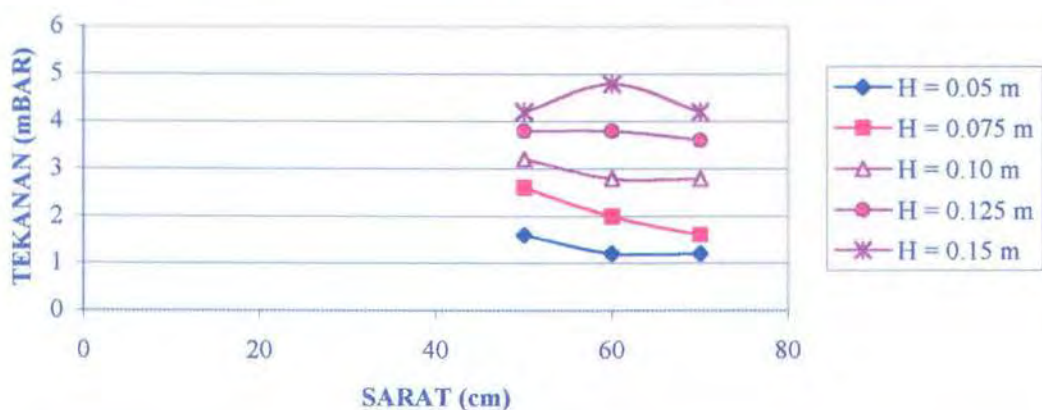
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 2.22 Detik dan Sudut Reflektor 30 Derajat



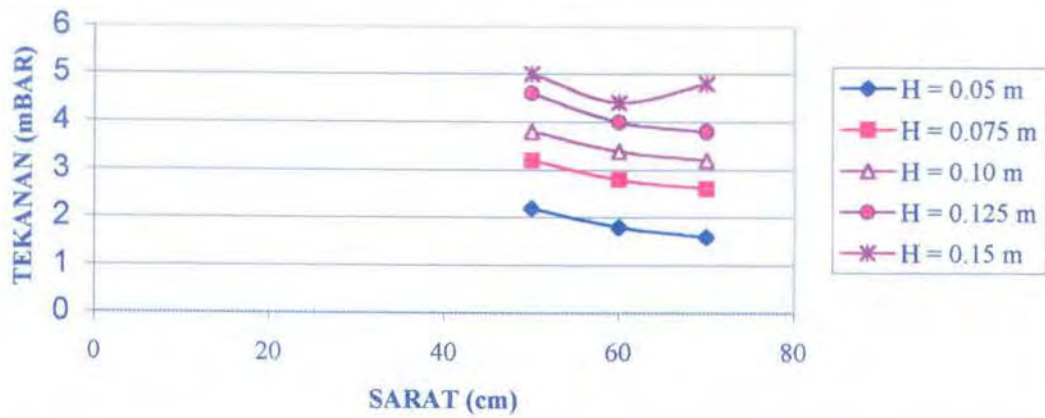
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 2.54 detik dan Sudut Reflektor 30 Derajat



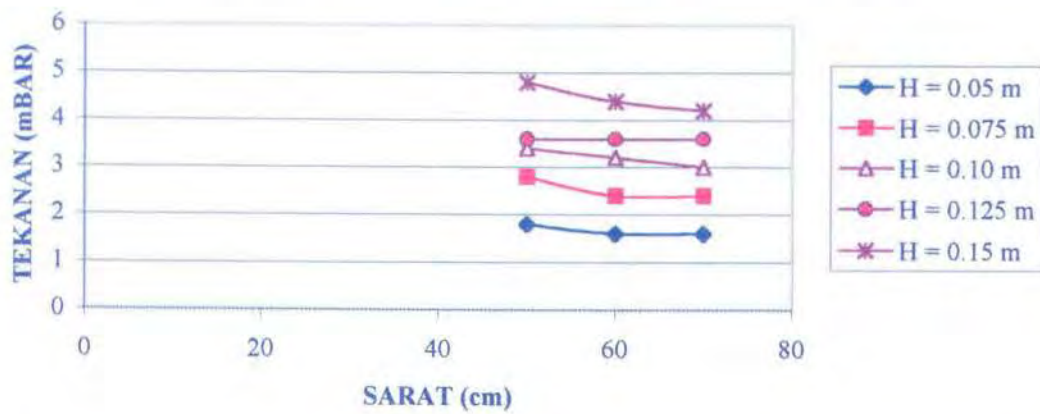
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.26 Detik dan Posisi Sudut Reflektor 45 Derajat



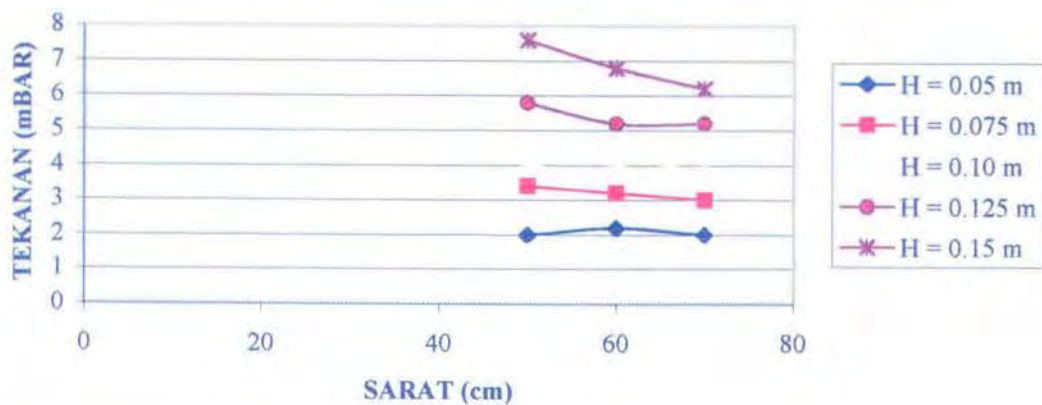
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.58 Detik
dan Sudut Reflektor 45 Derajat



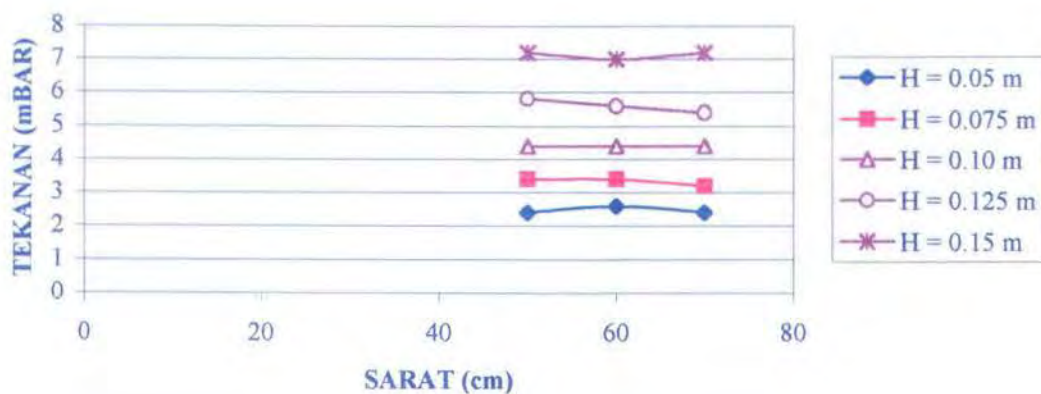
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.9 Detik
Sudut Reflektor 45 Derajat



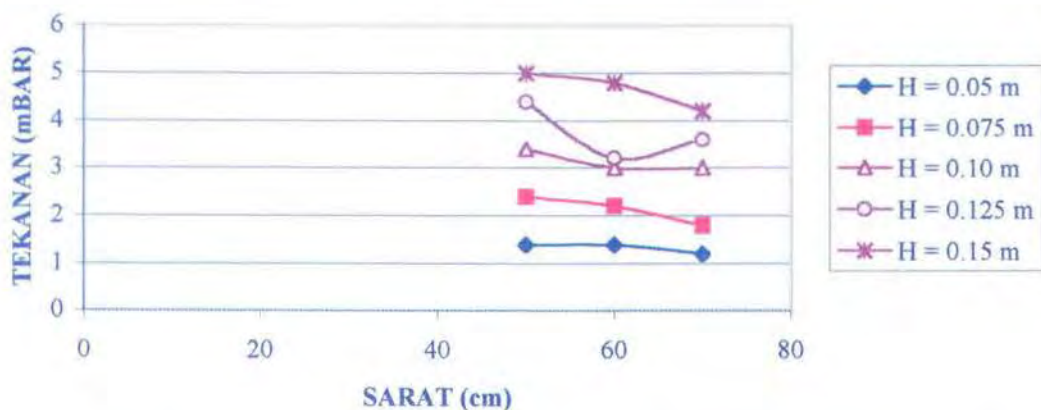
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 2.22 Detik
dan Sudut Reflektor 45 Derajat



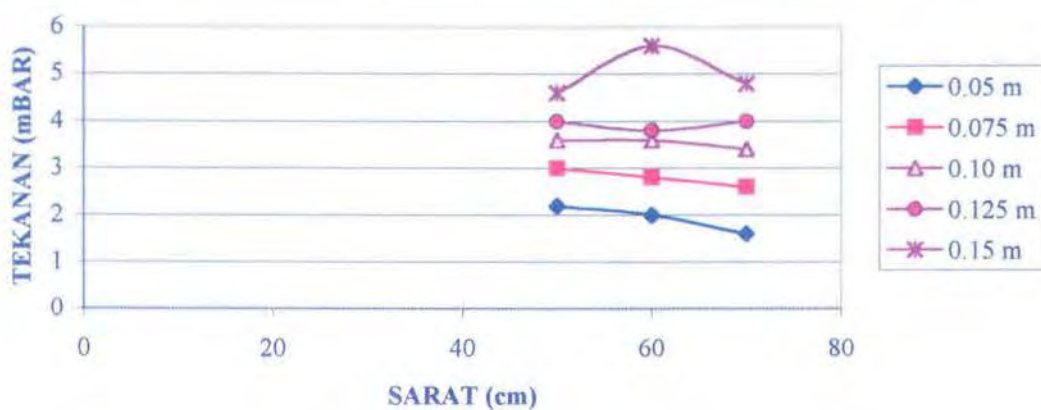
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 2.54 Detik dan Sudut Reflektor 45 Derajat



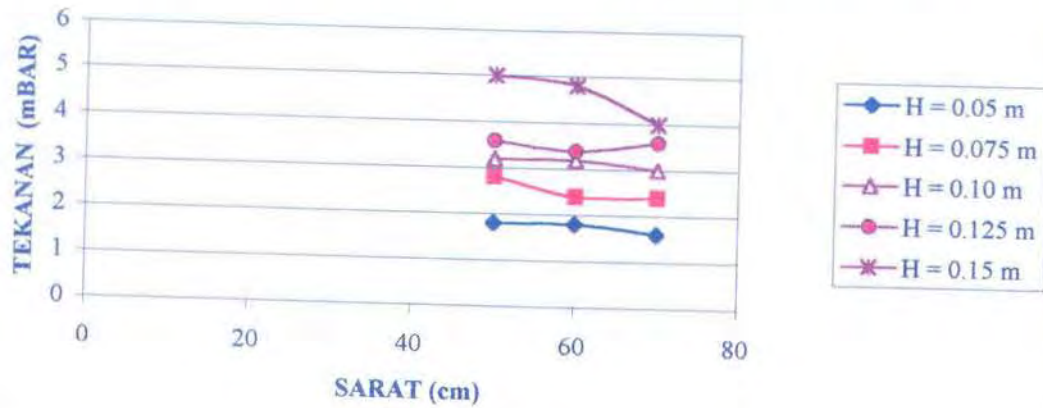
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.26 Detik dan Sudut Reflektor 60 Derajat



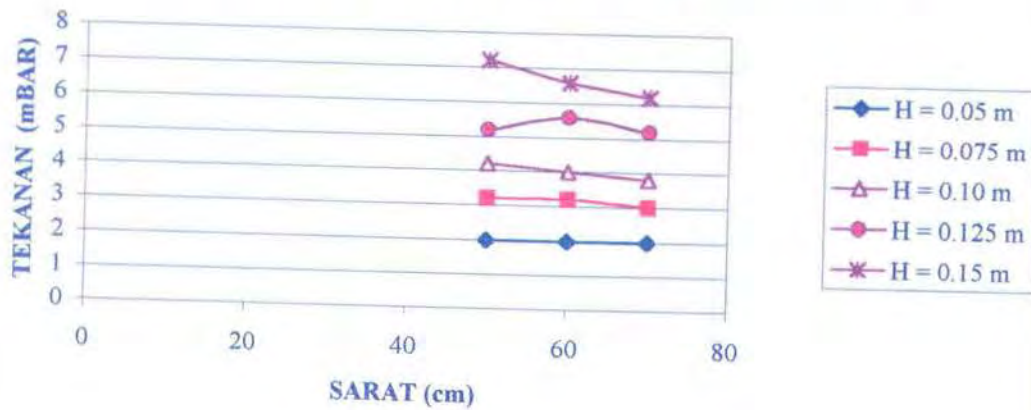
Hubungan Sarat Terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.58 Detik dan Sudut Reflektor 60 Derajat



Hubungan Sarat terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 1.9 Detik dan Sudut Reflektor 60 Derajat



Hubungan Sarat terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 2.22 Detik dan Sudut Reflektor 60 Derajat



Hubungan Sarat terhadap Tekanan Pada Periode Gelombang 2.54 Detik dan Sudut Reflektor 60 Derajat

